

UPAEP

BIBLIOTECA CENTRAL
TESIS
USO ÚNICAMENTE EN SALA



*Universidad Popular Autónoma
del Estado de Puebla*

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO
PARA PROCESO QUIMICO**

P o r

HECTOR MARQUEZ RAMOS

**Trabajo Práctico presentado a la Escuela de
Ingeniería Química como requisito parcial
para obtener el Título de**

Ingeniero Químico

OCTUBRE DE 1995



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



REDICON

REVIDRIADO DIRECCIONAL CONSOLIDADO, S.A. de C.V.



CHOLULA, PUE. A 12 DE OCTUBRE DE 1995.

Este trabajo práctico, denominado "Acero Recubierto de Vidrio para Proceso Químico" cubre con el objetivo trazado cumpliendo con los requisitos de Calidad y contenido, por lo cual el Sr. Héctor Márquez Ramos puede promover la obtención del Título de Ingeniero Químico de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.

ATENTAMENTE

Ing. José Reyes Cisneros
Asesor del trabajo

62653

A Dios

Al H. jurado Calificador

A mi Padre y Madre

Por la confianza depositada en mí
y por el esfuerzo realizado por y para mi educación.

Les dedico este trabajo con inmenso amor.

A mis hermanos

Arturo, Juan Ramón

Ma. del Carmen y J. Manuel

Con amor fraternal.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiera sido posible si Dios no lo hubiera querido, le agradezco la vida que me dio y haberme provisto de la valiosa ayuda de muchas personas e instituciones, a las cuales les expreso mi gratitud.

A Dios, a mis padres y Hermanos, a la Universidad, a todos mis maestros, al Ing. José Reyes Cisneros, a la Ing. y M.A. Ma. Josefina Rivero del Villar, al Quím. y M.A. Ricardo A. Jiménez Ramírez, al Ing. y M.C. Rafael Lucho Chigo, al Ing. Alejandro Narvaez Herazo, al personal de Revidriado Direccional Consolidado S.A. de C.V. , a todos mis compañeros y familiares

GRACIAS

Octubre de 1995.

RESUMEN

En este trabajo se exponen los principios básicos para la obtención del acero recubierto de vidrio.

Para llevar a cabo dicha tarea, es necesario hacer un estudio de los diferentes tipos de vidrio que existen comercialmente, haciendo énfasis tanto de su obtención como de sus propiedades, y así tener una base de como lograr un vidrio que pueda cumplir con los requisitos que se buscan.

Posteriormente se hace, una explicación del proceso de recubrir con vidrio al acero, esto es reforzado con algunas ilustraciones presentadas con objeto de brindar una mejor explicación de lo expuesto con palabras escritas.

Además en los últimos capítulos se incluyen los cuidados y recomendaciones para prevenir que sea dañado un equipo de acero recubierto de vidrio, así como la forma de reparar un daño en él

INDICE

Dedicatorias	iii
Agradecimientos	vi
Resumen.	vii
Lista de figuras.	xii
Lista de tablas.	xiii
CAPITULO I.	
Introducción.	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos.	2
1.3 Descripción del trabajo.	2

CAPITULO II.

Usos del acero recubierto de vidrio.

- 2.1 Por qué usar acero recubierto de vidrio. 4
- 2.2 Reacciones que se pueden llevar a cabo dentro
de un equipo de acero recubierto de vidrio. 6

CAPITULO III.

¿Qué es el vidrio?

- 3.1 Definición y caracter general del vidrio. 8
- 3.2 Fabricación. 9
- 3.3 Tipos de vidrio. 10
- 3.4 Colorantes para el vidrio. 11
- 3.5 Propiedades mecánicas del vidrio. 12
- 3.6 Propiedades térmicas del vidrio. 12

CAPITULO IV.

Elaboración del vidrio para recubrir el acero.

- 4.1 Características que se buscan en en vidrio. 14
- 4.2 Fabricación del vidrio. 15
- 4.3 Propiedades físico - químicas de los reactivos
utilizados. 18
- 4.4 Estructura del vidrio. 22
- 4.5 Aplicación del vidrio sobre el acero. 27
- 4.6 Preparación del metal. 30

CAPITULO V.

Análisis de las propiedades del vidrio.

5.1 Resistencia a la corrosión.	36
5.2 Resistencia a la corrosión debida a ácidos.	43
5.3 Resistencia a la corrosión debida a álcalis.	52
5.4 Resistencia a la abrasión.	56

CAPITULO VI.

Construcción de un equipo de acero recubierto de vidrio.

6.1 Cálculos.	57
6.2 Selección del material.	60
6.3 Construcción.	60
6.5 Aplicación del recubrimiento.	61

CAPITULO VII.

Selección de un equipo de acero recubierto de vidrio.

7.1 Revisión para evaluar el estado físico de un equipo de acero recubierto de vidrio.	62
7.2 Inspección visual.	64
7.3 Medición de espesores y prueba de alto voltaje.	65

CAPITULO VIII.

Prevención de daños en un equipo de acero recubierto de vidrio.

8.1 Fractura del vidrio.	68
8.2 Desprendimiento del vidrio por choque térmico.	72
8.3 Desprendimiento del vidrio por ataque químico.	75

CAPITULO IX.

Reparaciones de un equipo de acero recubierto de vidrio.

9.1 Cementos.	80
9.2 Tornillos.	82
9.3 Parches.	84
9.4 Nuevo recubrimiento al acero de vidrio.	86

CAPITULO X.

Conclusiones y recomendaciones.	88
--	-----------

BIBLIOGRAFÍA.	90
----------------------	-----------

LISTA DE FIGURAS.

Figura 4.1. Obtención de la frita.	17
Figura 4.2. Molienda del vidrio.	17
Figura 4.3. Estructura del vidrio.	25
Figura 4.4. Aplicación del vidrio.	29
Figura 4.5. Fusión del vidrio con el metal.	29
Figura 4.6. Fabricación de la pieza.	35
Figura 4.7. Limpieza del metal.	35
Figura 8.1. Torque de pernos.	70
Figura 9.1. Colocación de resina.	81
Figura 9.2. Colocación de tornillo.	83

LISTA DE TABLAS.

Tabla 5.1. Resistencia del vidrio en soluciones alcalinas.	52
Tabla 5.2. Efecto de inhibición del vidrio sobre varios reactivos.	53
Tabla 8.1. Cargando un producto frío a un equipo de acero recubierto de vidrio caliente.	73
Tabla 8.2. Introducción de un medio caliente a la chaqueta de un equipo de acero recubierto de vidrio.	74
Tabla 9.1. Resistencia a la corrosión de los metales más utilizados como parches.	85
Tabla 9.2. Propiedades físicas de los metales utilizables para tornillos y parches.	86

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

En las industrias químicas, procesadoras de alimentos y farmacéuticas, se utilizan equipos de acero recubierto de vidrio.

El vidrio es un material inerte, resistente a la corrosión pero frágil. El acero es fuerte, durable pero es muy atacado por todas las soluciones corrosivas. Por lo tanto la unión entre estos dos materiales hacen un material resistente a las condiciones de operación, como pueden ser la presión, y sumamente resistente al ataque químico que puedan ocasionar tanto los reactivos como los productos que se manejen dentro del equipo.

Las principales características que contiene el acero recubierto de vidrio, las cuales lo hacen uno de los materiales de construcción de equipos más importantes son las siguientes:

- a. Resistencia a la corrosión.
- b. No contaminación.
- c. Fácil limpieza del equipo.

d. Alta vida de servicio.

e. Economía.

1.2 Objetivos.

El objetivo principal de este trabajo es el de orientar a la industria química, de alimentos y farmacéutica sobre uno de los materiales más utilizados en la construcción de equipos para sus procesos, el acero recubierto de vidrio.

Así mismo, se pretende resumir en este mismo trabajo los criterios de cuidado que se deben tener en el uso de equipos de acero recubiertos de vidrio.

1.3 Descripción del trabajo.

Capítulo II - Usos de equipos de acero recubiertos de vidrio -. Una investigación sobre los principales usos de los equipos de acero recubiertos de vidrio en la industria.

Capítulo III - ¿Qué es el vidrio? -. En este capítulo se mencionan los diferentes tipos de vidrio, lo que nos sirve de referencia para la elaboración de nuestro vidrio.

Capítulo IV - Elaboración del vidrio -. Se describe el proceso de la elaboración y preparación del vidrio para ser aplicado sobre un equipo.

Capítulo V - Análisis de las propiedades del vidrio -. En éste capítulo se hace un análisis de las propiedades que debe cumplir el vidrio ya recubriendo al acero.

Capítulo VI - Construcción de un equipo de acero para ser recubierto de vidrio -. En éste capítulo se describe las características a cumplir del material a ser recubierto de vidrio, así como los cálculos, construcción y aplicación del recubrimiento.

Capítulo VII - Selección de un equipo de acero recubierto de vidrio -. Se describen los parametros a buscar en un equipo de acero recubierto de vidrio y la forma de determinarlos.

Capítulo VIII - Prevención de daños en un equipo de acero recubierto de vidrio -. El objetivo de este capítulo es el de orientar como prevenir daños a equipos de acero recubiertos de vidrio.

Capítulo IX - Reparaciones en un equipo de acero recubierto de vidrio -. Se hacen sugerencias de la forma a reparar un daño, dependiendo de su magnitud.

Capítulo X - Conclusiones y recomendaciones -. Este capítulo contiene un análisis final del trabajo en su totalidad, así como algunas sugerencias para su aprovechamiento y optimización.

CAPÍTULO II

USOS DEL ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO

2.1 Por que usar acero recubierto de vidrio.

Los principales usos del acero recubierto de vidrio (equipos o accesorios) en la industria química, farmacéutica y de alimentos, estan ligados a obtener los beneficios que ha continuación se describe:

- a. Resistencia a la corrosión. El rango de resistencia a la corrosión que da el acero recubierto de vidrio es muy alto y ningún otro material de construcción ofrece esta ventaja de resistencia química. Los equipos recubiertos de vidrio son altamente resistentes a todos los ácidos para todas sus concentraciones y temperaturas hasta su punto de ebullición, el unico ácido al cual el equipo recubierto de vidrio no se puede utilizar es el ácido fluorhídrico (HF). El ácido fosfórico (H_2PO_4) a altas concentraciones y álcalis ha ciertos valores de pH también tienen sus restricciones, las cuales se tratarán en capítulos siguientes.

- b. No contaminación.** La superficie inerte asegura una producción de plásticos, químicos y medicamentos con una pureza muy alta cuando son mezclados y almacenados en recipientes de acero recubiertos de vidrio.

- c. Fácil limpieza de equipos.** Por ser vidrio el recubrimiento, la limpieza de los equipos es muy fácil, solo basta con enjuagar con abundante agua u otro medio de limpieza (solventes) para eliminar los residuos de los recipientes recubiertos de vidrio.

- d. Alta vida de servicio.** Un equipo recubierto de vidrio tiene una vida aproximada de 10 años, lo cual depende de las condiciones de operación y de cuidado, esta puede ser muy corta, pero comparándola con la vida de otros materiales de construcción a las mismas condiciones es muy alta, esto indica que si un equipo tiene un buen cuidado la vida de éste se alargará.

- e. Economía.** Comparando costos de construcción de equipos construidos con otro material y equipos recubiertos de vidrio, y además la comparación de la vida útil y los beneficios antes mencionados, se concluye que es un gran ahorro en la economía de las industrias la utilización de equipos recubiertos de vidrio.

2.2 Reacciones que se pueden llevar a cabo dentro de un equipo de acero recubierto de vidrio.

Dentro de un equipo de acero recubierto de vidrio se pueden llevar a cabo reacciones en las que intervengan todos los ácidos orgánicos e inorgánicos (excepto el ácido fluorhídrico y sus sales como también el ácido fosfórico concentrado y caliente) a todas sus concentraciones hasta 176 °C y a temperaturas mucho más altas bajo ciertas condiciones, también es resistente al ataque alcalino hasta de pH 13 a 105°C.

Dentro de un equipo recubierto de vidrio se pueden llevar a cabo las siguientes operaciones básicas de la industria química, alimentos y farmacéutica.

- a. Transporte de líquidos y gases.
- b. Evaporación.
- c. Cristalización.
- d. Destilación.
- e. Extracción.
- f. Halogenación.
- g. Sulfonación.
- h. Nitración.
- i. Oxidación.
- j. Reducción.
- k. Diasozación.
- l. Esterificación.
- m. Alquilación.

n. Hidrolisis.

o. Reacciones Friedel - Crafts.

p. Condensación.

q. Polimerización.

En estos casos es recomendable tomar en cuenta las condiciones de operación antes mencionadas.

CAPÍTULO III

¿QUÉ ES EL VIDRIO?

La tecnología del vidrio ha adelantado más en los últimos años, debido al advenimiento de la revolución mecánica y el establecimiento de la investigación científica. Se han desarrollado nuevas propiedades, formas físicas y usos los cuales nunca se habían soñado. En otras palabras: en lo que respecta a la gran diversidad de sus aplicaciones, el vidrio puede ser un material tan nuevo como los plásticos.

3.1 Definición y carácter general del vidrio.

La definición de la ASTM dice que el vidrio es un producto inorgánico de fusión que se ha enfriado hasta adquirir un estado rígido sin ninguna cristalización.

Hasta una temperatura de varios cientos de grados centígrados, el vidrio es un material sólido con una rigidez elevada y una buena resistencia mecánica.

El vidrio se caracteriza generalmente por la rotura astillada con superficies de fractura concoideas. Se caracteriza por las propiedades que ha continuación se enlistan, haciendo énfasis en las de mayor interés para nuestro objetivo.

1. **Transparencia.**
2. **Dureza y resistencia al rayado.**
3. **Lisura.**
4. **Inercia química.** La excelente resistencia, incluso a temperaturas elevadas, a las reacciones con casi todos los compuestos químicos es la razón por la cual se usan utensilios de vidrio en la ciencia química desde sus comienzos. La insignificante reacción del vidrio en otras aplicaciones da como resultado la no contaminación de los materiales que están en contacto con él. Esta elevada resistencia a la corrosión por los ácidos, salvo el fluorhídrico, permite la limpieza y la esterilización rigurosas en las instalaciones empleadas para la preparación de alimentos y medicamentos.
5. **Excelentes propiedades dieléctricas.**
6. **No es poroso.**
7. **Transmisión elevada del calor en algunas aplicaciones.**

3.2 Fabricación.

El vidrio se hace calentando una mezcla que casi siempre consiste en arena silica y óxidos metálicos secos pulverizados o granulados, o compuestos que producen dichos óxidos cuando se calientan.

En el proceso de la fusión se forma un líquido viscoso, se producen burbujas y la masa se hace transparente y homogénea a temperaturas próximas a 1500 °C. Los

crisoles se utilizan mayormente para la fabricación de vidrios especiales.

3.3 Tipos de vidrio.

Mencionaremos los cinco tipos químicos de vidrio, haciendo un estudio detallado de los más relacionados con nuestro objetivo.

Los cinco tipos químicos son:

1. Vidrio sodico - cálcico o " vidrio a la cal ". Este tipo proporciona todavía la mayor parte del vidrio incoloro y transparente común. El noventa porciento en peso del vidrio fabricado es silicato sodico - cálcico.
2. Vidrio de plomo. Este vidrio se hace usando óxido de plomo, PbO , en lugar de una parte o la totalidad del óxido de calcio que funde y estabiliza la sílice y el álcali (óxidos de sodio y potasio).
3. Vidrios de borosilicato. Estos vidrios resistentes al calor contienen óxidos de boro, algo de alumina, cantidades pequeñas de álcali y ningún óxido de calcio, o cuando más 1%. El álcali suele ser óxido de sodio solamente. En la mayoría de los casos, el contenido de sílice es bastante mayor que en el vidrio sodico - cálcico y el vidrio de plomo.

El Borosilicato ha hecho posible el uso del vidrio en utensilios de laboratorio muy resistentes al calor y a los choques térmicos, donde las temperaturas de trabajo exigen a menudo una resistencia elevada a las variaciones bruscas de

temperatura. Este vidrio es el de la marca Pyrex.

4. Vidrio con 96% de sílice. Este vidrio (Vycor) se hace en dos fases, la primera fase de fabricación es la fundición normal y la segunda es la de un tratamiento térmico.

5. Vidrios de sílice (99.8% de SiO_2)

3.4 Colorantes para el vidrio.

Para dar color al vidrio se utilizan por lo general óxidos metálicos, a las mezclas utilizadas para los vidrio incoloros y transparentes de silicato o a mezclas derivadas de ellos por adición o aumento de cantidades de óxido de zinc y de potasio. La adición del agente colorante no ejerce normalmente ningún efecto importante sobre las propiedades del vidrio fuera del color.

Por lo general, el color en el vidrio es es de uno de los tres tipos siguientes:

- a. Colores de solución. Se producen por bandas de absorción características de los óxidos metálicos disueltos en el vidrio. Se usan muchos óxidos de los metales del primer grupo de transición, titanio, vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel y cobre, que son los colorantes más eficaces en general. De ordinario, solo es necesario añadir una cantidad comprendida entre unas cuantas milésimas y 3% ó 4% de óxidos metálicos para obtener los tonos de color deseados.
- b. Los colores de partículas coloidales. Son producidos por partículas submicroscópicas suspendidas en el vidrio, y el color depende

de su concentración y su tamaño.

- c. Colores producidos por partículas microscópicas o mayores. Pueden deberse al color de las partículas suspendidas, como en los vidrios de venturina.

3.5 Propiedades mecánicas del vidrio.

Las principales propiedades mecánicas a medir en un vidrio son:

1. Resistencia a la rotura.
2. Razón de Poisson.
3. Dureza.

3.6 Propiedades térmicas.

1. Temperatura de referencia.
 - a. Punto de trabajo. Es la temperatura a la cual la viscosidad del vidrio visiblemente caliente es lo suficiente baja para poder darle forma.
 - b. Punto de reblandecimiento. Es la temperatura a la cual el vidrio empieza a deformarse perceptiblemente bajo su propio peso.
 - c. Punto de recocido. Es la temperatura a la cual las tensiones internas existentes en el vidrio son sustancialmente aliviados por deslizamiento en quince minutos.
 - d. Punto de deformación. Es la temperatura a la cual las

tensiones internas son sustancialmente aliviadas en dieciséis horas.

2. Conductividad calorífica.
3. Calor específico.
4. Resistencia a las variaciones bruscas de temperatura.
5. Resistencia a las tensiones térmicas.

CAPÍTULO IV

ELABORACIÓN DEL VIDRIO

Para realizar la formulación del vidrio, antes debemos de revisar los siguientes puntos.

- Definir que tipo de vidrio debe ser.
- Analizar los reactivos que cumplan los requisitos de formulación.

4.1 Características que se buscan en el vidrio.

Para poder formular el vidrio necesitamos saber que características debemos de cumplir durante y después de ser procesado.

Las principales características son:

- a. **Adherencia al metal.** La principal característica que debe cumplir el vidrio es su adherencia al metal, por lo tanto se debe buscar una base que sea compatible tanto con el metal como con el vidrio. Esta base es comunmente llamada fundente.

- b. Resistencia química.** Los reactivos al ser mezclados deben estar encaminados a dar una resistencia química como la antes descrita al ser fundidos para recubrir el acero.

- c. Coeficiente de expansión.** Este parámetro es muy importante pues el coeficiente de expansión del metal con el vidrio debe ser muy parecido y así lograr una buena adherencia entre éstos.

- d. Aplicabilidad.** Tiene que ser muy fácilmente aplicable, lo que nos dará como resultado un proceso de recubrimiento fácil hacia todas las superficies sin importar su forma.

Todas estas características están ligadas con los reactivos que se utilicen en la formulación.

4.2 Fabricación del vidrio.

La fabricación del vidrio está dividida en cuatro etapas:

- 1. Formulación.**
- 2. Mezclado.**
- 3. Cristalizado.**
- 4. Molienda.**

1. Formulación.

Para obtener el vidrio se mezclan los reactivos (carbonatos, boratos, óxidos, etc.), estos reactivos son:

- a. Oxido de silicio.
- b. Borato de sodio.
- c. Nitrito de sodio.
- d. Carbonato de sodio.
- e. Carbonato de potasio.
- f. Carbonato de litio.
- g. Oxido de cobalto.

2. Mezclado.

Los reactivos mencionados son mezclados utilizando como medio agua desmineralizada, este mezclado se hace hasta lograr una mezcla homogénea, la cual se obtiene con una agitación de 30 rpm durante 15 minutos. La características de esta mezcla es la de no presentar grumos.

3. Cristalizado.

Esta etapa se hace después de obtener la mezcla homogénea, la cual se agrega a un crisol y este es sometido a un calentamiento con una temperatura uniforme de 1500 °C hasta la fundición total, como lo muestra la figura 4.1.

Su objetivo de esta cristalización es la de oxidar y acelerar la reacción de

interacción entre los reactivos agregados, y el más importante inertizar el vidrio al ser expuesto a flama abierta, para no tener problemas en la fundición para recubrir los metales.

El producto es vaciado en forma líquida a un recipiente de acero inoxidable 316L el cual contiene agua fría y de esta forma se obtiene el vidrio fritado comúnmente llamado **frita**.

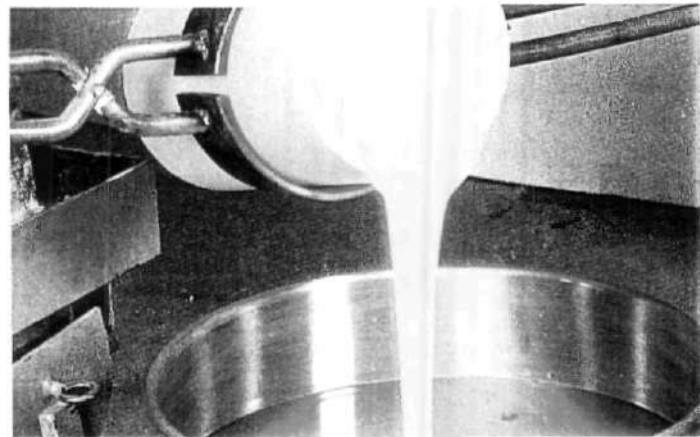


FIGURA 4.1 OBTENCION DE LA FRITA.
Una vez realizada la mezcla de las materias primas y su fundición, se retira del crisol agregando el contenido en agua para obtener la frita.

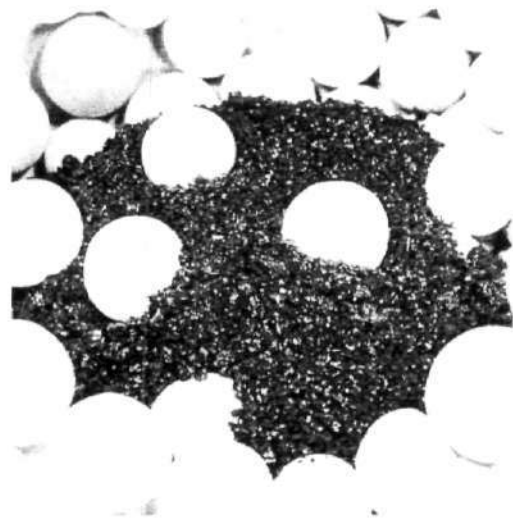


FIGURA 4.2 MOLIENDA DEL VIDRIO.
La frita se mezcla con agua y se muele hasta encontrar la consistencia necesaria para poder ser aplicado.

4. Molienda.

El vidrio fritado o " frita " es pesado y el promedio de pesadas fue de 3170 gr, lo que indica que la reacción tiene un rendimiento del 84 %.

Este se muele en un molino tipo de bolas, el material del que está hecho es cerámica acoplada internamente en forma de cilindro recubierta de placa de acero inoxidable, la cerámica es utilizada por su dureza y no contaminación debida a la fricción entre las bolas que son del mismo material, como lo muestra la figura 4.2.

Esta operación se hace a una velocidad adecuada, hasta lograr un grano de aproximadamente 200 mallas/pulg² este tamaño de grano nos ayudará a una mejor característica de aplicabilidad, el tiempo estimado de molienda es de 16 horas, donde los parametros a medir son:

- a. Densidad del líquido.
- b. Tamaño de grano.
- c. Suspensibilidad.

Al cumplir estos parámetros, el vidrio puede ser aplicado sobre el metal.

4.3 Propiedades físico - químicas de los reactivos utilizados.

4.3.1. Oxido de silicio.

Su fórmula es:

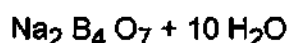


Sus propiedades químicas son:

La sílice, en todas sus formas, es resistente a los agentes químicos, es insoluble en todos los ácidos excepto en el fluorhídrico, que forma el SiF_4 , volátil y que también se forma rápidamente al calentarlo con fluoruro de amonio.

4.3.2. Borato de sodio.

Su nombre científico es tetraborato disódico decahidratado, y el empírico son dos bórax o baborato de sodio, su fórmula es:



Sus propiedades físicas son:

Peso molecular	381.44
Punto de fusión	75.00 °C
Densidad	1.715
Calor específico	0.385 cal / gr

Se hidroliza en solución acuosa y da una solución débilmente alcalina. Cuando se calienta el bórax, se funde en su propia agua de cristalización (fusión acuosa), se hincha hasta formar masa espumosa, pierde su agua de cristalización y se funde formando un vidrio claro (fusión ígnea).

4.3.3. Nitrito de sodio.

Es un compuesto blanco o ligeramente amarillo, su fórmula es:



Sus propiedades físicas son:

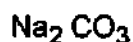
Peso molecular:	69.01
Densidad.	2.17
Punto de fusión	271 °C

Los ácidos débiles lo descomponen con desprendimientos de vapores de color rojo pardo. El pH de las soluciones es de 9.

Se emplea en la fabricación de colorantes azoicos, nitros o derivados y otros compuestos orgánicos. Una mixtura fundida de nitrito de sodio, nitrato de sodio y nitrato de potasio se utiliza como medio transmisor de calor.

4.3.4. Carbonato de sodio.

Es un polvo higroscópico, blanco y cristalino. También es conocido como soda ash, su fórmula es:



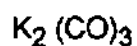
Sus propiedades físicas son:

Peso molecular	106.00
Punto de fusión	851 °C
Capacidad calorífica	256 cal / mol
Densidad	2.53 gr / cm ³

Se utiliza para neutralizar la acidez inconveniente o excesiva en la fabricación en gran escala de sustancias químicas. La mayor aplicación que tiene éste es la fabricación de vidrio.

4.3.5. Carbonato de potasio.

También conocido como carbonato potásico, la sal anhidra es un polvo blanco deliquescente, su fórmula es:



Sus propiedades físicas son:

Peso molecular	138.20
Densidad	2.29
Punto de fusión	891 °C

La principal aplicación del carbonato de potasio es la fabricación de vidrio duro, interviene en la producción de gran variedad de sustancias, entre las cuales figura: ácido oxálico, numerosos compuestos inorgánicos, preparación de alimentos y perfumes, vidriados de cerámica, etc.

4.3.6. Carbonato de litio.

Se presenta en forma de cristales prismáticos blancos y finamente divididos, su fórmula es la siguiente:



Su propiedades físicas son:

Peso molecular.	73.88
Solubilidad.	1.4 gr / 100gr de agua

El carbonato de litio es el más importante de las sales de este metal, porque es fácil de purificar y sirve para la conservación en otras sales de litio inorgánicas y

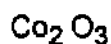
62659

orgánicas.

Uno de los principales usos del carbonato de litio es en la industria del vidrio y de la cerámica, además en el uso farmacéutico e industrial.

4.3.7. Óxido de cobalto.

Es un polvo amorfo negro, insoluble en agua pero soluble en ácidos y su fórmula es:



Sus propiedades físicas son:

Peso molecular	165.88
Punto de fusión	900 °C
Densidad	5.18

El óxido es reducido por el hidrogeno de los ácidos a óxido cobaltoso cobáltico a unos 125 °C; El óxido de cobalto reacciona con muchos ácidos y forma sales cobaltosas y oxígeno.

4.4 Estructura del vidrio.

A continuación se explica la estructura del vidrio ya recubriendo el vidrio.

Existen dos tipos de vidrio de óxidos, los cuales son:

- a. Vidrios de un solo componente.
- b. Vidrios de óxidos de varios componentes.

4.4.1. Vidrios de un solo componente.

Solo un número relativamente pequeño de óxidos pueden convertirse en vidrio de un solo componente. En esta teoría, la red de dichos formadores de vidrios se compone de triángulos de oxígeno o de tetrahedros de oxígeno ligados unos a otros continuamente, pero algo al acaso, en tres dimensiones por ángulos compartidos, pero no por aristas o caras.

4.4.2. Vidrios de óxidos de varios componentes.

Nuestro vidrio es de este tipo. Cabe mencionar que de los vidrios de un solo componente, solo el vidrio de sílice tiene alguna importancia comercial, y bien es un vidrio ideal en casi todos los aspectos es demasiado difícil de fabricar para emplearlo en usos técnicos. Los vidrios binarios adolecen del defecto de tener una duración química demasiado reducida y una tendencia demasiado grande a desvitrificarse. Por consiguiente, la mayor parte de la producción comercial consiste en vidrios que contienen un formador de vidrio y dos o más óxidos modificadores.

Según la teoría de la red poliédrica, esos óxidos modificadores están en el vidrio con sus átomos metálicos (cationes) ligados de modo relativamente laxo en los agujeros o intersticios entre los poliedros. Su distribución en los agujeros es al caso. No se cree que se forme primero la red y que después se llenen algunos de los agujeros. más bien parece probable que la red, mientras se está formando, se acomoda a la presencia de los modificadores, de modo que el tamaño y el carácter de un agujero depende algo del tamaño y la carga del catión modificador que llena dicho agujero particular. Por ejemplo: debido al "exceso" de oxígeno añadido por los óxidos

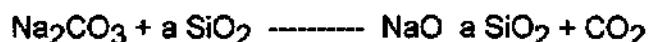
modificadores en los vidrios de silicatos, la razón numérica oxígeno/silicio es mayor que el valor de los SiO₂ puro; por consiguiente, con cada silicio ligado tetraédricamente a cuatro oxígenos, no es ya posible que todos los oxígenos estén ligados a dos silicios algunos tetraedros tendrán un ángulo no compartido y se dice que en esos ángulos el oxígeno no forma puente, a diferencia en los oxígenos de los ángulos compartidos que enlazan los tetraedros o forman puente entre ellos.

Por el hecho de que conducen a oxígenos que no forman puente, se dice que los modificadores provocan un rompimiento parcial de la red. Sin embargo, un catión modificador introduce una ligadura no dirigida débil entre él y unos cinco a ocho oxígenos que lo rodean.

Los cationes modificadores alteran efectivamente y debilitan la estructura de modo que ésta tiene una temperatura de reblandecimiento más baja, menor viscosidad, mayor coeficiente de dilatación calorífica, menor duración química y a menudo una tendencia algo aumentada a la desvitrificación a las temperaturas de conformación.

En la figura 4.3 se ilustra esquemáticamente la red poliédrica de nuestro vidrio.

Donde la 1ª reacción es:



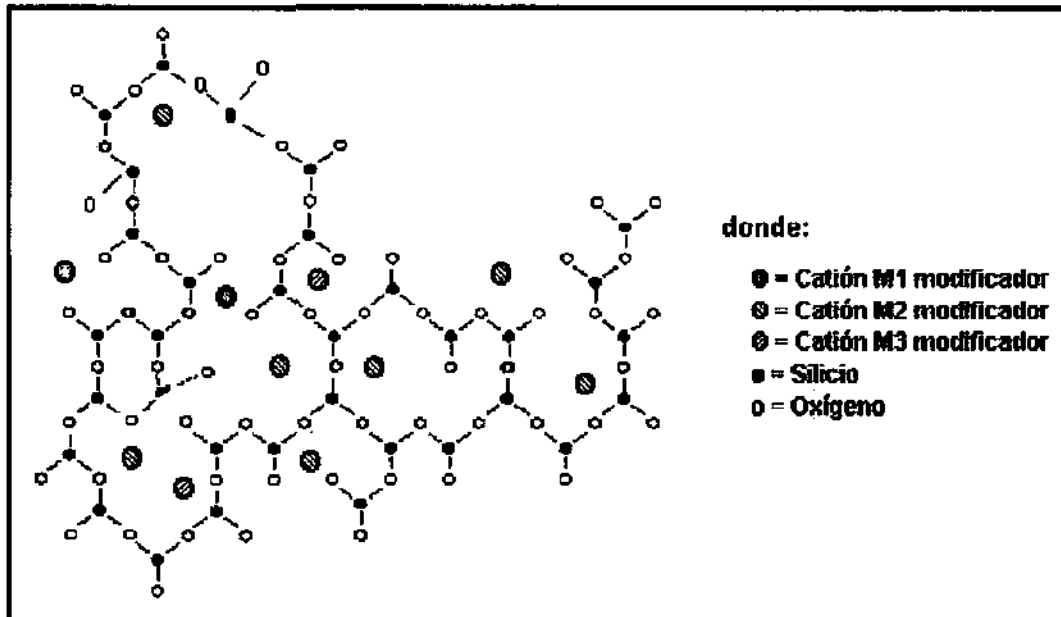


FIGURA 4.3 Representación esquemática bidimensional de la estructura del vidrio utilizado para recubrir el acero.

En la teoría de la red poliédrica se expone que los cationes de gran tamaño y poca carga de modificadores de la red causan la alteración mínima de la red y son los que producen al aumento más pequeño en la energía de la red. Esto está de acuerdo con la experiencia, que demostró hace muchos años que los cationes modificadores más útiles son los más grandes de los iones alcalinos univalentes (Na^+ , K^+) y los más grandes alcalinotérreos (Ca^{2+}).

Según Stevels, además de los formadores de red reales (Si^{4+} , B^{3+}) y los modificadores reales (Ca^{2+} , Li^+ , Na^+ , K^+).

Se puede reforzar la estructura con cationes intermedios que pueden

desempeñar ambas funciones. Estos se dividen en tres grupos.

Los del primer grupo suelen actuar como formadores de red y tiene una coordinación cuádruple, los elementos que lo forman son:

- a. Titanio.
- b. Aluminio.
- c. Estaño.
- d. Zirconio.

Los del segundo grupo, existen parcialmente en la red y parcialmente en los agujeros, los elementos que forman este grupo son:

- a. Fierro.
- b. Berilio.
- c. Magnesio.
- d. Niquel.
- e. Cinc.
- f. Cobalto.

En este grupo el color producido por el cobalto, fierro y niquel; se debe sensiblemente por el equilibrio que existe entre la fracción que está en la red y la fracción que está fuera de ella lo cual se relaciona con las propiedades sensibles a la estructura.

En el tercer grupo hay cationes que actúan prácticamente como modificadores de la red, el principal ejemplo es el catión del plomo (2+), el cual, sin embargo, en concentraciones muy grandes obra como formador de red con coordinación cuádruple.

4.5 Aplicación del vidrio sobre el acero.

El vidrio puede ser aplicado sobre la superficie del metal mediante los siguientes métodos.

1. Aspersión manual.
2. Inmersión o baño.
3. Estarcido.

A la superficie del metal se le aplicará un recubrimiento primario por cualquier método de los que serán descritos posteriormente, este primario es formulado para obtener una máxima adhesión. Esta primera capa una vez seca, es homeada para su fusión con el metal a una temperatura entre 850°C a 900°C.

Subsecuentemente se aplica la 1ª capa del vidrio resistente a la corrosión por cualquier método.

4.5.1. Aspersión manual.

Este método consiste en la aplicación del vidrio utilizando pistolas de aire para pintar de alta presión, el procedimiento es similar al de la pintura vinílica utilizando pistolas de aire, este método se ilustra en la figura 4.4.

Una vez seco el vidrio se homea para su fusión a una temperatura de 800°C. Este procedimiento se repite de 5 a 7 veces hasta lograr las características y el espesor deseados.

Este método es normalmente usado para recubrir recipientes grandes y accesorios.

4.5.2. Inmersión o baño.

Este método consiste en sumergir la parte cubierta con el primario en el vidrio o vaciar el vidrio sobre la superficie de la pieza recubierta con el primario, aquí se debe controlar la viscosidad del vidrio para procurar las características y espesor esperado, el exceso de vidrio es eliminado, una vez seco el vidrio se homea.

Este método es utilizado para la aplicación de tubería.

4.5.3. Estarcido.

Este método es utilizado para la aplicación de válvulas y conexiones y consiste en:

Ya con el primario recubriendo el metal se aplica la capa de vidrio lo cual se hace con un precalentamiento de la pieza para que una capa fina de polvo de vidrio sea estarcida, en este método se aprovecha el punto de fundición y fusión del vidrio, esta operación se repite hasta lograr las características deseadas y el espesor apropiado para el uso del equipo.

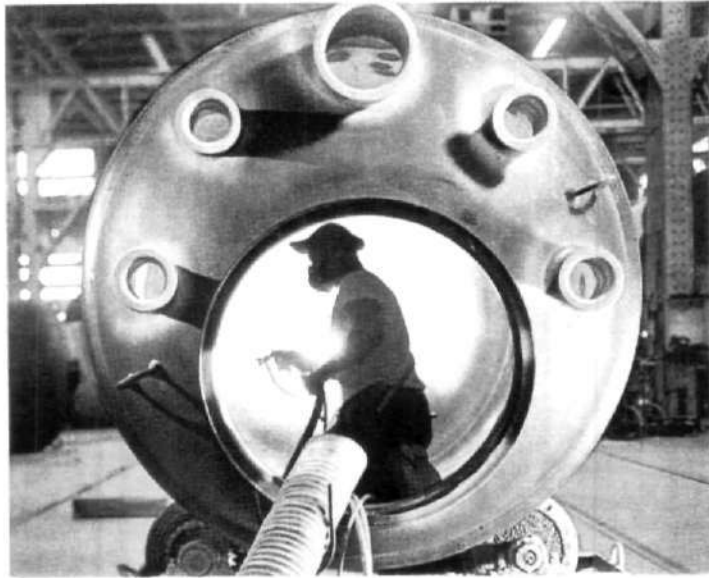


FIGURA 4.4 APLICACIÓN DEL VIDRIO.
La aplicación del vidrio puede ser por el método de aspersión manual.

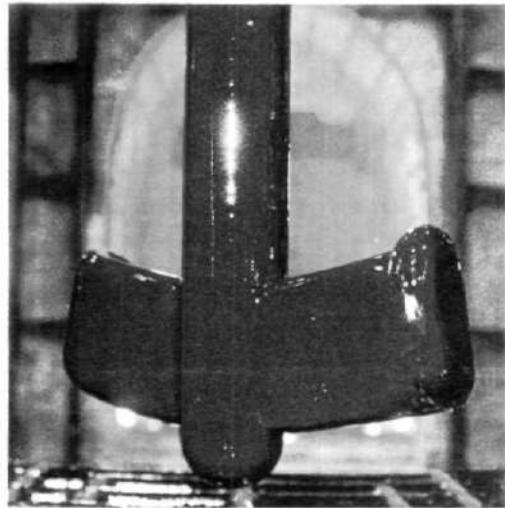
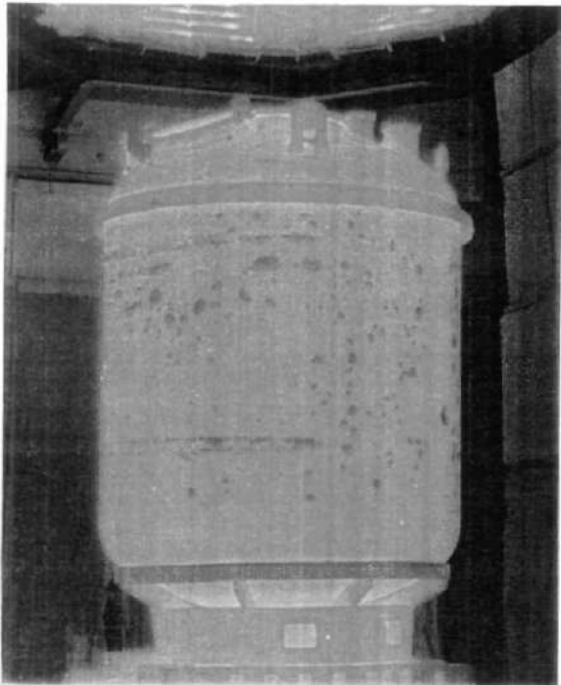


FIGURA 4.5 FUSIÓN DEL VIDRIO CON EL METAL.
Una vez que la aplicación se seca, la pieza se puede hornear y así obtener el acero recubierto de vidrio

4.6 Preparación del metal.

Para que un metal sea recubierto de vidrio, el metal debe tener una preparación previa, esta preparación se divide en 4 etapas:

1. Selección del material.
2. Construcción de la pieza.
3. Recocido.
4. Limpieza.

4.6.1. Selección del material.

Al seleccionar el metal el cual va a ser recubierto de vidrio se debe tomar en cuenta las siguientes características:

- a. Compatibilidad con el vidrio.
- b. Características físicas.

a. Compatibilidad con el vidrio.

El metal a utilizar debe ser acero al carbón, debido a sus características de composición.

Revisaremos los aceros al carbón, el requisito indispensable para que un acero se pueda recubrir de vidrio es su contenido de carbón.

El acero existe en diferentes especificaciones, existen los que tienen un alto contenido de carbón como las que no contienen, para nuestro objetivo utilizaremos un acero al carbón con un contenido medio.

Designación	Contenido de carbón %
A-1018	0.15 - 0.20
SA - 285 B	0.22

b. Propiedades mecánicas.

PROPIEDAD	A-1018	SA-285 B
- Resistencia a la cedencia en MPa.	294	165
- Resistencia a la tensión en MPa	392	380

4.6.2. Construcción de la pieza.

En la construcción de una pieza que va a ser recubierta de vidrio, existen diferentes factores que deben ser tomados en cuenta, estos factores son:

a. Soldadura.

b. Acabado.

a. Soldadura.

Al soldar metales para la construcción de una pieza se debe hacer un examen, que comprende inspección y prueba para evitar imperfecciones en la soldadura.

Cabe mencionar que no cualquier tipo de soldadura puede ser utilizada para el armado de piezas o equipos de acero que van a ser recubiertos de vidrio, ya que una soldadura de alto contenido de níquel, así como también de bajo contenido de

carbón dará como resultado la no adherencia del vidrio sobre las uniones soldadas.

A continuación se enlistan las imperfecciones que suele encontrarse en la soldadura y sus consecuencias durante el proceso de recubrimiento de vidrio.

IMPERFECCION	CONSECUENCIA
GRIETAS O MALA FUSION	APARICION DE BURBUJAS, DEBIDO A LA PRESENCIA DE OXIGENO EN LAS GRIETAS.
PENETRACION INCOMPLETA	BOTADURA DE VIDRIO CAUDASA POR LOS EFECTOS DE CONTRACCION DURANTE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO DE LA PIEZA Y DURANTE LA OPERACION SI ES SOMETIDA A PRESION.
POROSIDAD INTERNA	APARICION DE "POROS" EN EL VIDRIO CAUSADA POR EL CONTENIDO DE OXIGENO Y ALTO CONTENIDO DE CARBON EN ESTA POROSIDAD.
CONTENIDO DE ESCORIA	NO ADHERENCIA DEL VIDRIO HACIA EL METAL CAUSADA POR LA FALTA DE ADHERENCIA DE LA ESCORIA HACIA EL METAL, APARICION DE BURBUJAS CAUSADA POR EL ALTO CONTENIDO DE CARBON.
ADELGAZADO < 1/16"	NINGUNA
SUPERFICIE CONCAVA	ACUMULACION DE VIDRIO EN LA CAVIDAD, LO CUAL CAUSA BOTADURA DEL VIDRIO POR UN ESPESOR MAYOR A 0.060" EN LA OPERACION SOMETIDA A CALENTAMIENTO O PRESIONES.

b. Acabado.

Se refiere como acabado a la eliminación de todos los defectos que contenga el material, a continuación se enlistan los defectos y su consecuencia en el proceso de recubrimiento de vidrio.

DEFECTO	CONSECUENCIA
FILOS	NO ADHERENCIA DEL VIDRIO SOBRE EL METAL, CAUSANDO BOTADURAS DEL VIDRIO.
ENDIDURAS	ACUMULACION DE VIDRIO CAUSANDO POROS Y BOTADURAS POR UN ESPESOR ARRIBA DE 0.060".
PROTUBERANCIAS	PRESENCIA DE CHISPA AL HACER LA PRUEBA DE ALTO VOLTAJE AL EQUIPO RECUBIERTO, AL SER LA PROTUBERANCIA DE UN TAMAÑO MAYOR QUE EL RECUBRIMIENTO.

c. Recocido

El objetivo de el recocido es para obtener las características en el metal que a continuación se describen.

Las aleaciones, después de la solidificación, raras veces tienen una microestructura totalmente homogénea en el sentido de que los diversos elementos aleantes se encuentren uniformemente repartidos en toda la pieza, ni siquiera dentro de cada grano, puesto que lo general, la solidificación ha sido excesivamente rápida para haberse alcanzado las condiciones de equilibrio correspondientes. Las deformaciones plásticas que se efectúan en los materiales forjables para obtener semiacabados bien en caliente o en frío, con mantenimientos posteriores a elevadas temperaturas, dan por resultado una mejor distribución y más uniforme reparto de los elementos aleantes. Pero, de todas maneras, la deformación plástica pueden en algunos casos ser imposible o muy dificultosa si previamente no se ha efectuado una homogeneización del material, puesto que pueden producirse puntos frágiles como consecuencia de la microestructura presente en el material. Previamente debe lograrse la homogeneización del material mediante un recocido prolongado a muy

elevadas temperaturas, dentro de un rango de 800°C a 900°C, que se denomina recocido de homogeneización.

El recocido de los aceros es un tratamiento térmico que tiene por finalidad eliminar las tensiones introducidas la fabricación de éste, así como, el ordenamiento de sus elementos aleantes. Estas características se consiguen enfriando el acero desde la región austenítica a una velocidad suficientemente lenta, a este método se le denomina recocido total (enfriado dentro del horno). El recocido normalizado que consiste en el mismo procedimiento, cambiando solo en el enfriado, ya que este se hace con introducción de aire. Existen otros tipos de recocido, como son el globalizado, y la eliminación de tensiones.

d. Limpieza.

El objeto de la limpieza es el de eliminar toda impureza que fué resultante del recocido, por lo general, esta impureza se presenta en forma de una capa muy delgada de color gris oscuro la cual en su mayor parte consta de carbón, que ha sido generado por la reacción de oxidación.

El método de limpieza denominado "sand blast" o chorro de arena, este chorro se logra por aspersión de la arena hacia una corriente de aire a alta presión.

La arena utilizada es arena sílica, sus características de esta arena es el tamaño de grano (25 a 30 mallas / in²) y su figura de éste (aristas pronunciadas, es decir, con picos), y así lograr una penetración de 0.002" a 0.003".

En el proceso de vidriado, esta penetración nos dará una mejor adherencia del primario o fundente. La figura 4.7 nos da una ilustración de como se hace la limpieza de la pieza por el método de sand blast por aspersión.

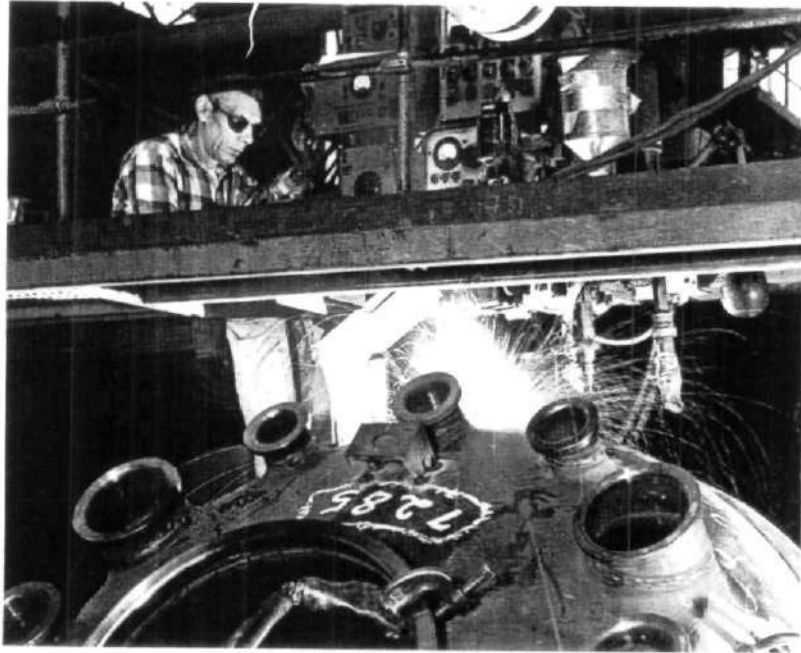


FIGURA 4.6 FABRICACIÓN DE LA PIEZA.
En la fabricación de las piezas
la soldadura es un paso básico .

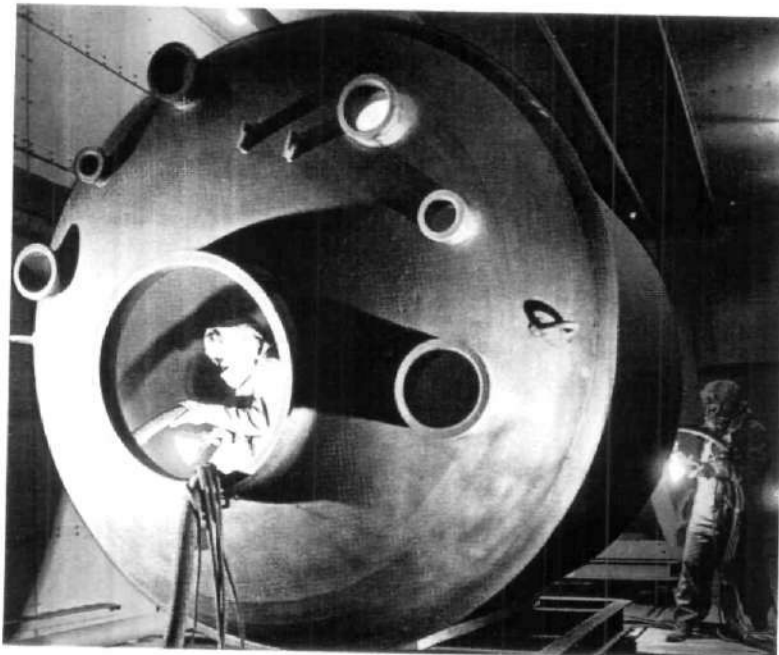


FIGURA 4.7 LIMPIEZA DEL METAL.
El paso anterior a la aplicación del
vidrio es la limpieza de la pieza.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL VIDRIO

En este capítulo se analizarán las principales características que el vidrio debe tener. Estas nos darán la seguridad de que un equipo de acero recubierto de vidrio será útil para cualquier uso en la industria y su utilización sea segura.

De todos los datos presentados, algunos han sido tomados de diferentes libros que se refieren a la corrosión de materiales y la mayoría sobre una prueba práctica de determinación de corrosión bajo el método de inmersión total, que se describe en este capítulo, y los resultados se presentaran en forma de gráfica y tabulados, para así dar una forma más practica de consulta.

5.1 Resistencia a la corrosión.

Para realizar este estudio nos basaremos en un método confiable, existen tres tipos de pruebas, a continuación las enlistaré en orden decreciente de confiabilidad:

1. La experiencia operacional real con equipos de plantas a escala completa expuestas a medio corrosivo.
2. Experiencia con equipos de plantas en pequeña escala ya sea en condiciones comerciales o planta piloto.
3. Pruebas de laboratorio con muestras expuestas a líquidos de plantas reales o ambientes simulados.

Estas pruebas en la planta son útiles para:

- a. Selección del material más apropiado para resistir un ambiente dado y estimar su durabilidad probable en ese ambiente.
- b. Estudio de la eficacia de los medios para evitar la corrosión.

5.1.1. Selección del método para probar la corrosión.

Un buen método para determinar el factor de resistencia química, es la llamada **prueba de inmersión total**, las características de esta prueba son:

- a. Este representa un método no acelerado.
- b. Da resultados razonables concordantes.
- c. Da conformidad aproximada con los resultados obtenidos a gran escala.

Existen otros métodos, pero para la traducción de los resultados de laboratorio a los resultados de la planta existen muchas complicaciones.

Por eso la prueba de inmersión total es uno de los métodos más representativos para simular las condiciones operacionales.

Esta prueba está aceptada por la - National Association of Corrosion Engineers (NACE) - que estableció el Standard TM-01-69 como el método apropiado para probar la corrosión en laboratorio.

5.1.2. Descripción del método.

Para una descripción más detallada y un mejor entendimiento se divide el método en los siguientes pasos:

- a. Piezas para prueba.
- b. Aparato a utilizar.
- c. Composición de la solución de prueba.
- d. Temperatura de la solución.
- e. Volumen de la solución.
- f. Limpieza de las muestras después de la prueba.
- g. Evaluación de resultados.

a. Piezas para prueba.

El tamaño y la forma de las muestras varían de acuerdo con la finalidad de la prueba, la naturaleza del material y el aparato que se utilice.

Para nuestro caso es conveniente una razón grande de superficie a masa y una razón pequeña de área de borde a área total. Esto se logra con una muestra

rectangular o circular de espesor mínimo.

Todas las muestras se deberán medir cuidadosamente para permitir el cálculo exacto de las zonas expuestas. Por lo común es adecuado un cálculo exacto de área con una precisión de más menos 1%.

Para obtener resultados más uniformes se deberán de eliminar variaciones en la superficie, esto se logra con una lija del número 600, teniendo cuidado de no trabajar demasiado la superficie.

Después de esta preparación de la superficie de la muestra, esta se debe almacenar en un desecador hasta la exposición, cuando no se utilicen inmediatamente.

Se pesa en balanza analítica antes de ser introducida al matraz para hacer la prueba de corrosión, a esta pesada la llamaremos **pesada inicial**.

b. Aparato.

Para llevar a cabo la prueba de corrosión se necesita montar un dispositivo el cual consistirá de las siguientes partes:

- Un matraz de bola con doble entrada de 500 ml.
- Un condensador de reflujo tipo serpiente.
- Un dispositivo regulador de temperatura.

Este aparato es adaptable y conveniente para llevar a cabo esta prueba de corrosión en cualquier lugar.

c. Composición de la solución de prueba.

En la industria química, de alimentos y farmacéutica, se utilizan gran variedad de ácidos inorgánicos y orgánicos, así como álcalis, en este análisis las pruebas de corrosión se realizarán con los ácidos que comunmente son más utilizados en la industria, a la concentración más agresiva hacia el vidrio.

Estos ácidos y álcalis son:

Acidos inorgánicos.

1. Acido Clorhídrico.
2. Acido Sulfúrico.
3. Acido Nítrico.
4. Acido Fosfórico.

Acidos Organicos.

1. Acido acético.

Alcalis.

1. Hidróxido de Sodio.

d. Temperatura de la solución.

Esta temperatura será la de ebullición de cada solución, controlada dentro de un rango de más menos 1 °C.

e. Volumen de la solución.

El volumen de la prueba se determina por la relación de volumen área estipulada por la norma ASTM Standard G31 del Laboratory Inmersión Testing of Materials esta relación es de 40 ml / cm², de solución / relación de superficie de la muestra.

Existe otra relación de volumen área de 20 ml / cm², de solución / relación de superficie de la muestra. Esta corresponde a la recomendación de la norma A262 de la ASTM, para la prueba de Huey. la cual puede ser utilizada en la prueba de inmersión total.

Estos volúmenes de la solución de prueba de corrosión es suficientemente grande para evitar cualquier cambio apreciable de la corrosividad, debido al agotamiento de los constituyentes corrosivos o de la acumulación de productos de la corrosión que puedan afectar el avance de la corrosión.

f. Limpieza de las muestras después de la prueba.

Antes de limpiar las muestras, es preciso observar y tomar nota de su aspecto. La ubicación de los depósitos, las variaciones en los tipos de depósitos y la de los productos de corrosión son extremadamente importantes para evaluar la corrosión localizada, como las picaduras y el ataque en celdas de concentración. Una de las características más importantes de que se deben tomar en cuenta en esta primera inspección es el brillo con el cual cuenta la muestra.

La limpieza de las muestras después del ensayo es una etapa vital en el procedimiento de prueba de corrosión y si no se realiza adecuadamente, pueden obtenerse resultados engañosos de la prueba de corrosión.

Se deben retirar todos los productos de corrosión de las muestras con una eliminación mínima del vidrio sano. La limpieza se debe hacer bajo chorro de agua y una frotación constante, para eliminar alguna traza de la solución.

g. Evaluación de resultados.

Después de la limpieza se debe eliminar toda la humedad, lo cual se debe de hacer por medio del secado dentro de una mufla a 100 °C durante 1 hora, cuidando que el cambio de temperatura, tanto de calentamiento como de enfriamiento, sea de 2°C por minuto, para evitar alguna contracción en la muestra lo cual nos variaría los resultados.

Al terminar este paso de secado se llevará la muestra hacia un desecador y permanecerá ahí hasta el momento de su **pesada final**.

La velocidad de corrosión o penetración se puede calcular alternativamente como sigue:

$$\text{mils/año} = \text{pérdida de peso} \times 534 / (\text{área})(\text{tiempo})(\text{densidad del vidrio}).$$

$$\text{mm/año} = \text{pérdida de peso} \times 13.56 / (\text{área})(\text{tiempo})(\text{densidad del vidrio})$$

donde:

Pérdidas de peso: miligramos.

Area: Pulgadas cuadradas de superficie del vidrio expuesta.

Tiempo: Horas de exposición.

Densidad: gramos / cm³.

5.2 Resistencia a la corrosión debida a ácidos.

El acero recubierto de vidrio, ha sido uno de los materiales más utilizados para la construcción de equipos para procesos químicos, alimenticios y farmacéuticos, tanto como por su versatilidad, fácil limpieza y principalmente por su resistencia al ataque de ácidos. El objetivo de este capítulo es orientar al usuario de equipos de acero recubierto de vidrio sobre como lograr una gran vida de servicio de su equipo.

En capítulos posteriores se darán guías sobre el mantenimiento de sus equipos lo que da como resultado también un alargamiento de vida útil de éstos.

Existen siete consideraciones que se deben tomar para utilizar equipos de acero recubierto de vidrio en ambientes ácidos, estas son:

- a. Tipo de ácido.
- b. Temperatura.
- c. Concentración.
- d. Tiempo y frecuencia de exposición.
- e. Inhibidores.
- f. Mecanismos de corrosión
- g. Erosión.

a. Tipo de ácido.

El vidrio es altamente resistente y durable (5 o más años de vida) para todas las soluciones acidas a diferentes concentraciones hasta una temperatura de 121 °C y en algunos casos hasta 232 °C. Existen excepciones donde el vidrio no se puede utilizar bajo ninguna circunstancia en soluciones del ácido fluorhídrico para todas sus concentraciones y temperaturas, así como para el ácido fosfórico concentrado y caliente.

b. Temperatura.

Es la variable más importante en la determinación de los rangos de corrosión. La temperatura de todos los ácidos (excepto el ácido Fluorhídrico HF) no tiene ningún efecto sobre el vidrio. Sin embargo, los rangos de corrosión se incrementan con la temperatura. El vidrio no muestra cambios significativos en el rango de corrosión dentro de una temperatura de 121°C. Existen variantes en éste punto dependiendo del tipo de ácido.

c. Concentración.

Este factor es considerado en conjunción con la temperatura, por eso se muestran los dos en las gráficas de corrosión.

Uno de los problemas más comunes, es la acción corrosiva de la condensación del vapor de agua sobre los materiales de construcción más usados, la cual se puede evitar con una baja concentración de ácido (1 %) y permite elevar la

temperatura de operación de agua pura de 10°C hasta la temperatura límite de 121°C. El vidrio ofrece excepcional resistencia a este tipo de ataque y no corrosión por la solución de ácido utilizada.

La inhibición del efecto corrosivo de los ácidos sobre el vidrio disminuye cuando su concentración se incrementa dentro del rango de 20% al 40%. Este efecto inhibitorio de la corrosión sobre el vidrio, se incrementa con las concentraciones altas y ofrece excelente resistencia para soluciones concentradas a temperaturas elevadas. La notable excepción de esta generalización es el ácido fosfórico, el cual aumenta su acción corrosiva con las concentraciones altas.

d. Tiempo y frecuencia de exposición.

Las gráficas mostradas están basadas en un tiempo de exposición continua de 24 horas por día. Por eso, los rangos de vida útil del equipo de acero recubierto de vidrio aumentan ya que en la mayoría de las industrias siempre existen tiempos muertos en los procesos.

e. Inhibidores.

Las impurezas y otras sustancias presentes en las soluciones ácidas, generalmente tienden a inhibir el ataque. La excepción son las impurezas que contienen materiales fluorosos.

Estos materiales atacan la red silica del vidrio, aún en pequeñas cantidades. Por ejemplo, existe un ataque severo a una concentración de 100 ppm de ácido fluorhídrico a 100 °C, lo cual equivale a 500 ppm a 166 °C.

f. Mecanismos de corrosión.

Los metales en general están sujetos al ataque químico y diferentes tipos de corrosión electromecánica (acción galvánica, corrosión en grietas, corrosión por desgaste y corrosión intergranular). El vidrio consiste de una estructura silica y modificadores, por lo cual cualquier mecanismo de corrosión que pueda ocurrir es disuelto. Pero existe el ataque del metal hacia el vidrio lo cual modifica la estructura silica intacta, y da como resultado un ataque mayor.

e. Erosión.

La presencia de cantidades muy grandes de sólidos afecta al vidrio, por lo cual es necesario evaluar el largo angular, dureza y densidad de estas particulas para evitar la erosión.

A continuación se describirán las principales propiedades así como los usos más comunes de los acidos ya enlistados, además acompañados de una gráfica que muestra el efecto de inhibición del vidrio sobre los acidos.

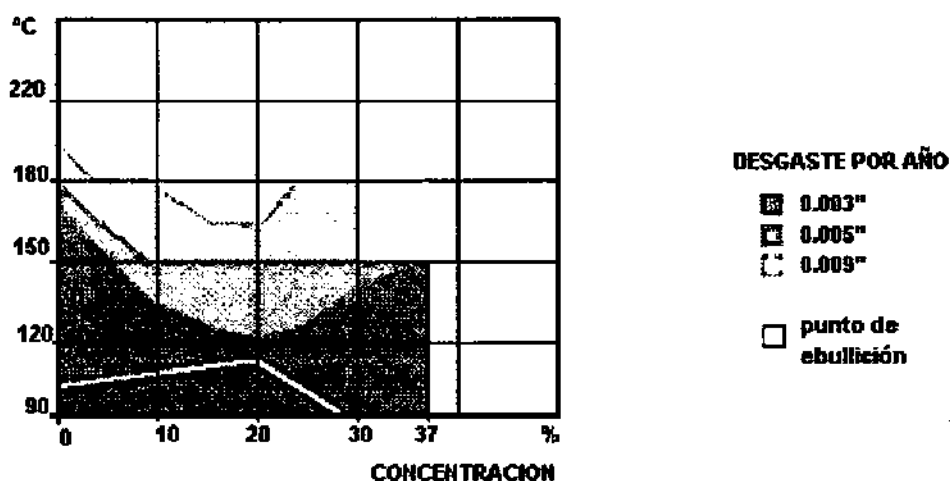
Sobre las bases o álcalis se da una tabla con los valores maximos de pH y de temperatura que podrán ser utilizados en un equipo de acero recubierto de vidrio.

5.2.1. Acido clorhídrico.

Es un líquido venenoso de olor punzante que a la concentración del 20% da una mezcla de punto de ebullición constante.

Es el ácido inorgánico de más uso en los procesos. Este es uno de los más agresivos para atacar los materiales de construcción, especialmente a temperaturas elevadas. El acero recubierto de vidrio es uno de los materiales de construcción que puede ser usado satisfactoriamente.

La siguiente gráfica muestra la inhibición del efecto corrosivo del ácido a bajas concentraciones en la fase líquida; el rango de corrosión en HCl al 1% a una temperatura de 178°C es equivalente al del agua a 135°C. Este es menor en la fase vapor para concentraciones abajo del 10% y temperaturas alrededor de 148°C. Conforme la concentración aumenta el ácido incrementa su agresión, teniendo su máximo a una concentración al 20% con una temperatura de 121°C. La corrosión disminuye a una concentración del 37% (grado reactivo del HCl).



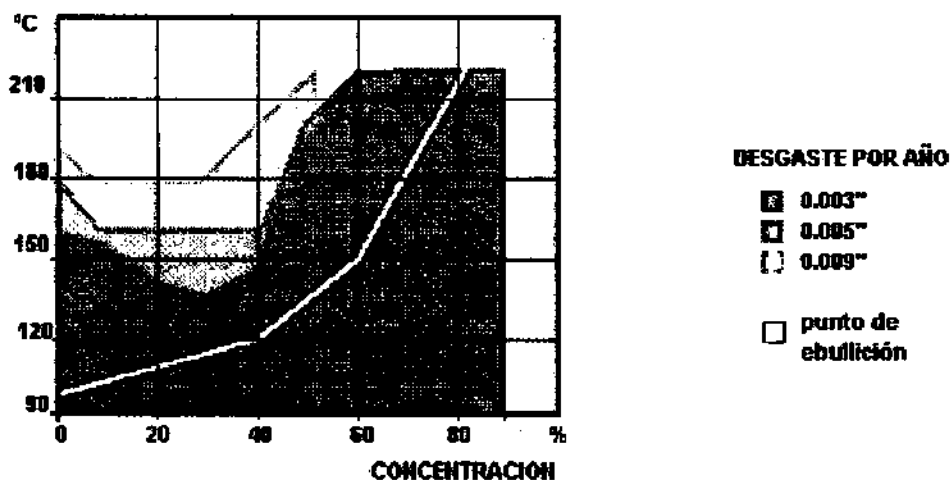
5.2.2. Acido sulfúrico.

Este es el ácido más ocupado en volumen en la industria, el vidrio es el mejor material para su manejo.

El efecto inhibitor del vidrio sobre el ácido sulfúrico a concentraciones bajas no es tan pronunciado como con el ácido clorhídrico (HCl), pero al incrementar su concentración el grado de inhibición disminuye.

La más baja resistencia es a una concentración de ácido sulfúrico al 30% para una temperatura de 140°C. Para concentraciones arriba del 30% la resistencia se incrementa rápidamente con la concentración.

La siguiente gráfica muestra el desgaste que sufre el vidrio contra el ataque del ácido sulfúrico, cabe mencionar que como en esta figura y en las demás los datos son ilustrados como si el equipo estuviera las 24 horas del día sometido al ataque.



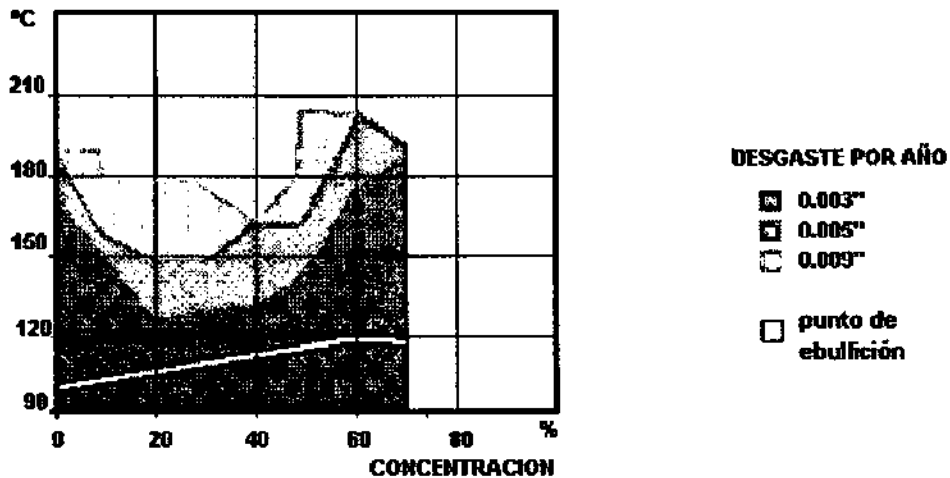
5.2.3. Acido nítrico.

El ácido nítrico es un oxidante fuerte que presenta riesgos de incendio; es un líquido incoloro o ligeramente amarillento miscible con agua; hierve a 86°C.

Sus principales usos son: en la síntesis química, para la fabricación de explosivos y fertilizantes y en metalurgia, también es llamado agua fuerte.

Como con el ácido clorhídrico y sulfúrico, el vidrio es resistente al ácido nítrico, para su manejo y almacenamiento. Además, en mezclas del ácido nítrico con otros ácidos inorgánicos, como por ejemplo con el ácido clorhídrico (agua regia), el vidrio es uno de los mejores materiales para su manejo.

La gráfica nos muestra el efecto inhibitor del vidrio sobre el ácido nítrico.

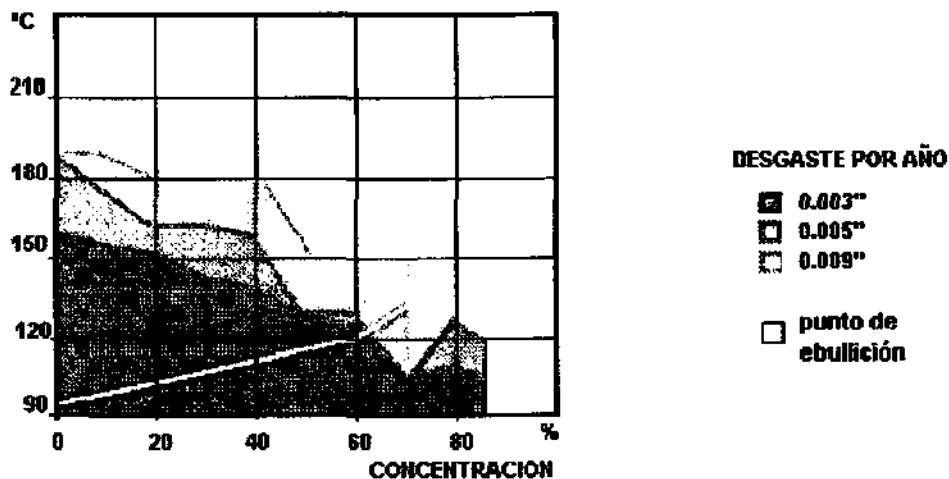


5.2.4. Acido fosfórico.

Se presenta en la forma de cristales transparentes solubles en agua, que funden a 42°C.

Uno de los principales usos es como fertilizante y en bebidas no alcohólicas y jarabes aromáticos, en alimentos para animales y para proteger y dar carácter de inoxidable a los metales. También es denominado ácido ortofosfórico.

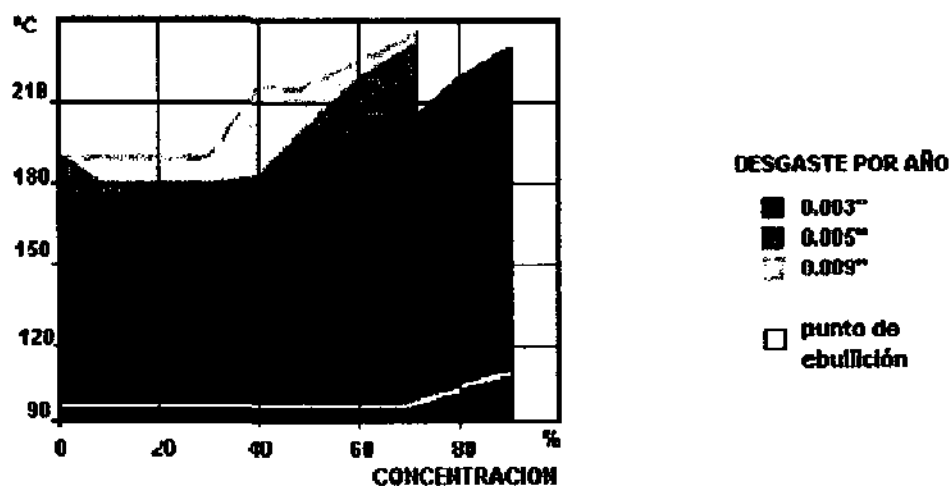
El efecto de inhibición de las soluciones de ácido fosfórico en vidrio es comparable con los otros ácidos inorgánicos, lo cual se puede apreciar en la siguiente figura.



5.2.5. Acido acético.

Es un líquido transparente e incoloro de olor picante, miscible en agua y en alcohol, también es llamado ácido etanoico.

El efecto de inhibición de la soluciones de ácido acético sobre el vidrio es el mismo que con los demás ácidos orgánicos y los ácidos inorgánicos, como lo muestra la figura.



En la tabla 5.2 se muestran otros ácidos y compuestos que se consideran los más utilizados en la industria química mostrando el efecto de inhibición del vidrio sobre ellos. Se tomaron en cuenta tres temperaturas basándose en los límites de utilización en un equipo de acero recubierto de vidrio, estas temperaturas son 20°C, 100°C y 200°C.

5.3. Resistencia a la corrosión debida a álcalis.

El vidrio muestra una alta resistencia a la corrosión alcalina. Se puede utilizar a diferentes temperaturas, pero con un valor de pH determinado. En la tabla de resultados se muestran las máximas temperaturas de operación y el máximo valor de pH permisible.

La corrosión alcalina difiere de la ácida, porque el ataque alcalino es directamente hacia la red silica del vidrio, y este ataque es limitado solo si se controla la temperatura y el valor del pH.

**TABLA 5.1 RESISTENCIA DEL VIDRIO
EN SOLUCIONES ALCALINAS.**

TEMPERATURA MAXIMA °C	VALOR DE pH MAXIMO
71	14.0
82	13.0
93	12.0
100	11.5 *
104	11.0
116	10.0
129	9.0
135	8.0

* Para un servicio ocasional de neutralización un valor de pH 13 es aceptable.

Como podemos notar a medida que se incrementa la temperatura, el valor de pH disminuye, por lo tanto, se puede utilizar el vidrio con mayor seguridad entre más bajo sea el valor de pH.

**TABLA 5.2 EFECTO DE INHIBICIÓN DEL VIDRIO SOBRE
LOS REACTIVOS MAS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA.**

SOLUCION	TEMPERATURA		
	20°C	100°C	200°C
Acetaldehído	A	A	A
Acetona	A	A	A
Acido acrílico	A	A	A
Cloruro de aluminio s.a.	A	A	B
Acido fórmico	A	A	B
Anilina	A	A	A
Etanol	A	A	A
Etilen-glicol	A	A	A
Benceno	A	A	A
Acido benzoico	A	A	A
Bromo	A	A	A
Acido bromhídrico	A	A	B
Cloro gaseoso	A	A	A
Cloroformo	A	A	A
Dibromoetileno	A	A	A
Dimetilsulfato	A	A	A
Cloruro ferrico s.a.	A	A	B

TABLA 5.2 CONTINUACIÓN...

SOLUCION	TEMPERATURA		
	20°C	100°C	200°C
Anhídrido acético	A	A	A
Acido graso	A	A	A
Acido fluorhídrico	C	C	C
Formaldehído	A	A	A
Glicerina	A	A	A
Urea	A	A	A
Cloruro de potasio s.a.	A	A	B
Hidroxido de potasio	A	B	C
Agua regia	A	A	A
Iodo	A	A	A
Alcohol isopropilico	A	A	A
Acido maleico	A	A	A
Alcohol metilico	A	A	A
Acetato de metilo	A	A	A
Acetato de metilo	A	A	A
Acido monocloroacetico s.a.	A	A	B
Naftalina	A	A	A
Carbonato de sodio	A	B	C
Nitrobenceno	A	A	A

TABLA 5.2 CONTINUACION...

SOLUCION	TEMPERATURA		
	20°C	100°C	200°C
Acido oxalico s.a.	A	A	B
Acido perclorico	A	A	B
Acido fosfórico	A	A	C
Piridina	A	A	A
Acido nitroso s.a.	A	A	B
Acido sulfúrico (oleum)	A	A	A
Anhidrido sulfúrico	A	A	A
Anhidrido sulfuroso	A	A	A
Tetracloruro de carbono	A	A	A
Tolueno	A	A	A
Tricloroetileno	A	A	A
Acido tricloroacetico s.a.	A	A	B
Acido citrico s.a.	A	A	B

NOMENCLATURA.

A = ALTAMENTE RESISTENTE.

**B = RESISTENCIA VARIABLE EN FUNCION
A LA CONCENTRACION.**

C = NO RESISTENTE.

s.a. = SOLUCION ACUOSA.

La razón por la cual el agua y las soluciones acuosas son de gran importancia en los problemas de corrosión en el vidrio, es porque cuando el mecanismo de ataque en el vidrio involucra iones.

De los iones que se presentan en las soluciones acuosas solo cinco son los que se involucran más es éste mecanismo - tres aniones y dos cationes - , donde la forma de ataque se realiza en forma nucleofílica y después en forma electrofílica. Los aniones son O^{2-} , OH^- , F^- ; los cationes son H^+ , H_3O^+ .

5.4 Resistencia a la abrasión.

La resistencia a la abrasión del acero recubierto de vidrio es determinada por la estructura de la capa del vidrio, la cual está constituida de burbujas. Se desea que la burbujas sean pequeñas y su distribución uniforme, las burbujas grandes no son deseadas ya que si su número se incrementa y son cercanas a la superficie, la resistencia del vidrio a la abrasión decrece.

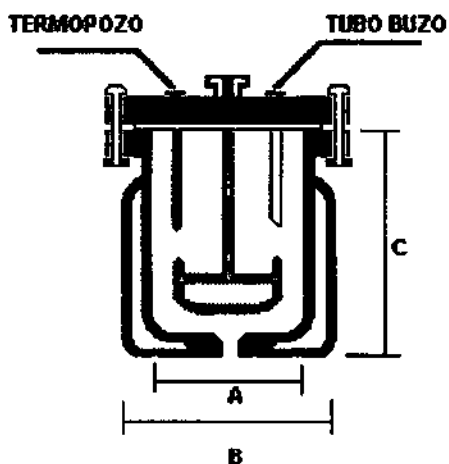
The Porcelain Enamel Institute tiene un proceso para determinar la resistencia a la abrasión del vidrio. En esta prueba la resistencia a la abrasión del vidrio aplicado sobre el metal va de un rango de 48 a 64 unidades de su escala, que comparandolas con el 64.3 (de la misma escala) del vidrio plano se concluye que la resistencia a la abrasión del vidrio utilizado para recubrir acero es de buena a muy buena.

En servicio la cantidad de partículas sólidas en solución, su dureza, su angularidad y velocidad, son factores críticos. Las partículas duras, pesadas, angulares y a alta velocidad son muy agresivas hacia el vidrio.

CAPÍTULO VI
CONSTRUCCION DE UN EQUIPO
DE ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO

6.1 Cálculos.

En la siguiente figura se ilustra el reactor con sus medidas y detalles en sus accesorios.



Donde:

A = 8" diámetro interior
B = 10" diámetro interior
C = 10" altura

NOTA.-

- a. Tubo buzo de teflón**
1" de diámetro
- b. Termopozo vidriado**
- c. Agitador tipo ancla vidriado**
- d. Boquilla de descarga**
1 1/2" diámetro

6.1.1. Capacidad.

Diametro: 8" (20.32 cm).

Altura: 10" (25.4 cm).

$$\begin{aligned}\text{volumen} &= 3.1416 \times \text{altura} \times r^2 \\ &= 3.1416 \times 25.4 \times 10.16^2 \\ &= 8237.05 \text{ cm}^3 \\ &= 8.23 \text{ litros}\end{aligned}$$

La capacidad total del tanque es de 8.23 litros, por lo general un reactor se carga al 60% de la capacidad nominal, por lo tanto el volumen real del tanque es de 4.93 litros (1.30 galones).

6.1.2. Características físicas.

En la siguiente tabla se presentan los espesores de la placa que conforman el cuerpo y la chaqueta.

PIEZA	ESPESOR DE PLACA
TAPA DEL REACTOR	1 1/4"
CUERPO DEL REACTOR	3/8"
FONDO DEL REACTOR	3/4"
CUERPO DE CHAQUETA	1/4"
FONDO DE CHAQUETA	1/4"

6.1.3. Características de diseño y de trabajo.

	CUERPO	CHAQUETA
Presión de diseño	1 kg/cm ²	6 kg/cm ²
Presión de trabajo	0.8 kg/cm ²	5 kg/cm ²
Temperatura de diseño		
máxima	230 °C	230 °C
mínima	-10 °C	-15 °C
Temperatura de trabajo		
máxima	230 °C	230 °C
mínima	-10 °C	-15 °C
Capacidad en litros	4.93	2.06
Velocidad de agitación	34 rpm	-----

Nota.- El sello del agitador es del tipo estopero

6.1.4. Características químicas.

El reactor es de acero recubierto de vidrio, el recubrimiento es resistente al a corrosión de todos los ácidos (excepto el ácido fluorhídrico a todas sus concentraciones y temperaturas, así como también al ácido fosfórico a altas concentraciones y altas temperaturas).

6.1.5. Servicio.

Este arreglo de agitador tipo ancla y termopozo recto se puede utilizar para realizar las siguientes operaciones:

- a. Homogenización.
- b. Transferencia de calor.
- c. Reacción química.

6.2 Selección del material.

El material a utilizar para cada pieza es el siguiente:

PIEZA	MATERIAL	COMPOSICION (%C)
Caja del estopero.	AS-1018	0.15-0.20 (bajo carbón)
Boquilla de tapa.	AS-1018	0.15-.020 (bajo carbón)
Tapa.	AS-1018	0.15-0.20 (bajo carbón)
Brida superior.	AS-1018	0.15-0.20 (bajo carbón)
Cuerpo.	AS-36	0.20-0.25 (bajo carbón)
Fondo.	AS-1018	0.15-0.20 (bajo carbón)
Agitador.	AS-1018	0.15-0.20 (bajo carbón)
Termopozo.	AS-1018	0.15-0.20 (bajo carbón)

Como se explicó en capítulos anteriores la composición del metal influye demasiado en el proceso de vidriado, especialmente el porcentaje de carbón que contenga éste. Por eso se eligieron los materiales antes mencionados, además poseen características físicas resistentes a las condiciones de trabajo que puede ser sometido el equipo.

6.3 Construcción.

El ensamble del reactor se hizo soldando las piezas, la soldadura utilizada fue la siguiente:.

Cordon interior o fondeo SA-6013.

Cordon exterior o cubriente SA-7018.

6.4 Aplicación del recubrimiento.

El método utilizado para la aplicación del vidrio por pieza se describe a continuación:

PIEZA	APLICACIÓN POR:
Caja del estopero.	Inmersión o baño
Boquilla de tapa.	Inmersión o baño
Tapa.	Aspersión manual
Cuerpo.	Aspersión manual
Agitador.	Aspersión manual
Termopozo.	Aspersión manual

CAPÍTULO VII
SELECCION DE UN EQUIPO
DE ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO

**7.1 Revisión para evaluar el estado físico de un equipo de acero
recubierto de vidrio.**

El objetivo de esta revisión es el de prevenir daños que pueda hacer a un equipo recubierto de vidrio un equipo inservible.

Una revisión nos permite proponer una acción correctiva con la cual podemos prevenir un mayor daño en el equipo.

Para dar muchos años de vida a un equipo recubierto de vidrio es necesario tener un razonable mantenimiento preventivo.

A continuación se enlistan los puntos que puedan servir de guía para elaborar un plan de revisión de equipos recubiertos de vidrio.

1. Inspección y prueba de toda la superficie recubierta de vidrio, inmediatamente después de su instalación.

2. Hacer una inspección programada

- a. Por periodos
- b. Lotes.
- c. Volumen de producción, etc.

El objetivo principal de esta revisión es la determinar el estado de los accesorios, como pueden ser.

- a. Sellos
- b. Empaques
- c. Juntas
- d. Controladores

Las partes en mal estado es necesario cambiarlas, para así asegurar el buen funcionamiento del equipo.

- 3. Limpieza inmediata de derrames de productos o reactivos en la parte exterior o área no recubierta de vidrio del equipo.
- 4. Una revisión visual a todas las superficies recubiertas de vidrio.
- 5. Reparación de toda área dañada.
- 6. En caso de un equipo enchaquetado, se recomienda la limpieza del interior de ésta periódicamente.
- 7. Checar el buen funcionamiento de todos los controladores tanto de presión, temperatura, concentración, flujo, etc.

7.2 Inspección visual.

Es una inspección cuidadosa de la superficie recubierta de vidrio, lo que se trata de localizar en esta inspección son todas las fallas que se suele encontrar en un equipo recubierto de vidrio.

1. Botaduras producidas por golpe.
2. Botaduras producidas por choque térmico.
3. Botaduras producidas por ataque químico (Hidrogenación).

Todas éstas fallas serán descritas tanto en su forma como prevención en capítulos posteriores.

Al encontrar estos daños se debe hacer lo siguiente:

1. Hacer la prueba de alto voltaje en las áreas donde se encuentre alguna duda de presencia de metal, se recomienda no hacer la prueba en toda la superficie recubierta de vidrio, ya que debido a los espesores que se encuentren en el equipo si son muy bajos, la prueba puede abrir el recubrimiento y hacerlo un equipo inservible.
2. Reparar el daño inmediatamente.
3. Checar parches y cambiar los que estén en mal estado.

7.3 Medición de espesores y prueba a alto voltaje.

El espesor del vidrio depende del uso final que va a tener el equipo de acero recubierto de vidrio.

Un espesor de 0.015" a 0.025", el cual se logra generalmente con una aplicación del primario o fundente y una aplicación de vidrio resistente a la corrosión.

Este grado de vidrio solo recibe una inspección visual asegurándose la no exposición de metal, cabe mencionar que entre estos espesores el vidrio no está libre de poros, su uso es para exposición de medios no corrosivos y no muy cerca de la máxima temperatura de uso, esto es para prevenir una contaminación ión-metal al producto. Este grado de vidrio es comúnmente usado en cervecerías para almacenaje y en plantas químicas para hacer polimerizaciones.

El segundo grado de vidrio es aquel el cual debe tener un espesor nominal de 0.030" a 0.050" con un espesor mínimo de 0.020".

Este vidrio es probado a un voltaje de 5,000 volts c.a., lo cual asegura un poder cubriente bueno y la no porosidad, la prueba de campo no debe exceder un voltaje de 2,000 volts c.a., éste espesor del vidrio es adecuado para ácidos y álcalis débiles o suaves a temperaturas no mayores a 80°C.

El tercer grado de vidrio es aquel que tiene un espesor nominal de 0.040" a 0.080" con un espesor mínimo de 0.030", en la planta se prueba de 15,000 a 20,000 volts c.a., lo cual asegura un completo recubrimiento y no porosidad. En el campo la prueba a alto voltaje no debe exeder los 5,000 volts c.a. Su uso es en reactores,

columnas de destilación, intercambiadores de calor, es decir, en la mayoría de los equipos que van a ser sometidos a condiciones severas de operación.

7.3.1. Recomendaciones.

En el campo es recomendable hacer una prueba de alto voltaje dentro de un rango de 5,000 a 6,000 volts, esto se hará solo cuando la inspección visual muestre señales de abrasión, ataque corrosivo o daño mecánico, en los cuales exista duda de presencia de metal.

Debido a las formas que tienen los equipos recubiertos de vidrio se recomienda utilizar las siguientes formas del sensor de la prueba de alto voltaje:

- a. Tipo brocha para áreas abiertas.
- b. Tipo punta de aguja para boquillas y áreas confinadas.
- c. Tipo punta exacta o cabeza de alfiler para áreas dañadas.

Cuando hay un daño se ve y se escucha una chispa, por lo cual esta prueba de alto voltaje es comúnmente conocida como prueba de chispa.

Inmediatamente después que es localizado un daño marcado por la prueba de alto voltaje se debe reparar, ya que esto señala que hay presencia de metal sin recubrimiento de vidrio.

Estas reparaciones se pueden hacer con:

- 1. Cementos.**
- 2. Tornillos de metales resistentes a la corrosión.**
- 3. Parches de metales resistentes a la corrosión.**
- 4. Nuevo recubrimiento de vidrio.**

Todas estas formas de reparación se explicaran en capítulos posteriores, ya que existen formas determinadas de las colocación de estos.

CAPÍTULO VIII

PREVENCIÓN DE DAÑOS EN UN EQUIPO DE ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO

Como ya se describió en el capítulo anterior las pruebas a utilizar para identificación de daños y sus formas en la que se presentan estos daños, en este capítulo describiremos más detalladamente a estos daños que comúnmente se encuentran en un equipo de acero recubierto de vidrio y sus formas de prevención.

8.1 Fractura del vidrio.

Mejor conocida como botadura, es causada por un golpe en el vidrio o en la parte no recubierta del equipo, también es causada por un mal torque al momento de ensamblar el equipo recubierto de vidrio.

8.1.1. Formas de prevención.

Las formas de prevenir esta fractura son:

- a. No golpear en ningún lado al equipo recubierto de vidrio, con herramientas u otros objetos.
- b. No dejar herramientas u otros objetos que puedan causar daños al equipo, dentro o cerca de boquillas del equipo recubierto de vidrio.
- c. Si es necesario entrar a un equipo recubierto de vidrio, procurar no hacerlo con herramientas u objetos metálicos como pueden ser:
 - Monedas.
 - Llaveros.
 - Cadenas.

Al entrar a un equipo recubierto de vidrio es necesario colocar en el fondo una protección como telas o neopreno de tal forma que estos cubran todo el fondo para poder ser pisado sin ningún un riesgo. Si no es posible colocar esta plataforma se recomienda eliminar polvo que pueda contener el calzado y cubrir a este con trapos y así evitar daños a un equipo recubierto de vidrio.

- d. No pisar o utilizar a equipos recubiertos de vidrio para hacer maniobras de carga

- e. Utilizar la forma y el torque apropiado para ensamblar equipos y / o piezas recubiertas de vidrio.

8.1.2. Torque de pernos.

Al efectuar las juntas en las bridas del equipo recubierto de vidrio, se debe utilizar un procedimiento correcto para apretar las juntas bridadas. Se recomienda utilizar llaves de torque controlado para evitar los esfuerzos que puedan quebrar el vidrio, siguiendo la secuencia numérica ilustrada.

Además se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- a. Utilizar las juntas o empaques apropiadas.
- b. Apretar cada tuerca manualmente siguiendo la numeración ilustrada en la figura 8.1.

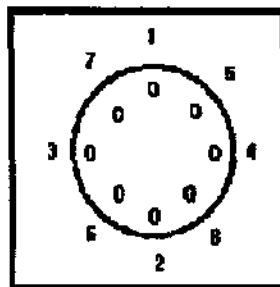


FIGURA 8.1 TORQUE DE PERNOS.

- c. Siguiendo la secuencia numérica, dar a cada tuerca aproximadamente media vuelta a la vez.

d. Dar el torque recomendado, dependiendo del diámetro de la brida, este diámetro es el nominal.

La siguiente tabla muestra los torques recomendados (en pies-libras) para los diámetros nominales dados, siempre y cuando se utilicen empaquetaduras o juntas con envoltorio de PTFE (tipo CRT).

DIAMETRO	No DE PERNOS	DIAMETRO DE PERNOS	TORQUE (PIES - LIBRAS)
1 1/2"	4	1/2"	20 - 30
2	4	5/8"	25 - 55
3	4	5/8"	40 - 65
4	8	5/8"	40 - 70
5	8	3/4"	50 - 100
6	8	3/4"	55 - 100
8	8	3/4"	65 - 110
10	12	7/8"	70 - 140
12	12	7/8"	70 - 140

Los valores de los torques para los diámetros nominales se basan en el número de pernos necesarios para mantener la presión interna del equipo, y en los siguientes apartados:

1. El uso de pernos y tuercas nuevos y bien lubricados, que sean del tamaño correcto para cumplir con las normas ASTM con la especificación A-194, clase 2H en tuercas, y la especificación A-193 grado B7 para tornillos y pernos.

2. Juntas paralelas para permitir la apretadura uniforme.
3. Apretadura inicial en frío, seguida por una segunda apretadura después de un ciclo de funcionamiento a temperatura elevada o durante un periodo de descanso de 24 horas sin aumento de temperatura.

En caso de ser necesario es permisible acuñar la junta para alinear perfectamente las tuberías y / o evitar filtraciones a través de una junta bridada, es decir, conseguir un perfecto sello.

8.2 Desprendimiento del vidrio por choque térmico.

Esta botadura es en forma rígida y su forma física depende de la manera como fue hecho el choque térmico.

El vidrio puede esforzarse peligrosamente y dar como resultado una fractura de la forma de choque térmico al:

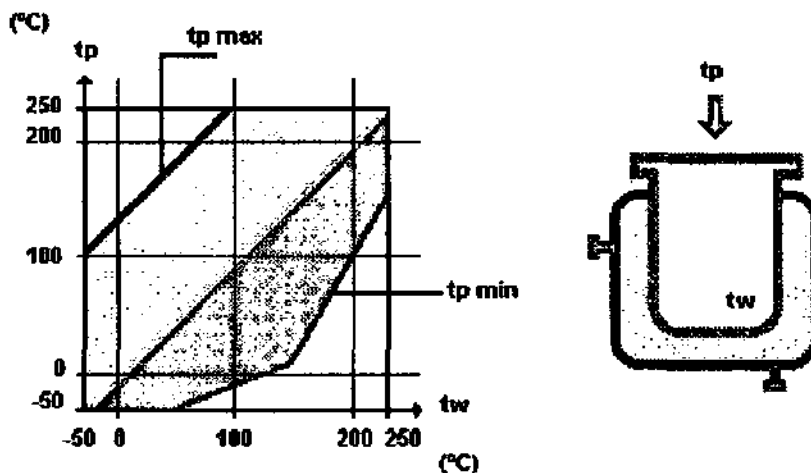
1. Verterse un líquido frío en una unidad vacía que esté caliente.
2. Verter un líquido caliente en una unidad vacía que esté fría.
3. Cargar la chaqueta con un medio frío cuando el cuerpo interior está caliente.
4. Cargar la chaqueta con un medio caliente cuando el cuerpo interior está frío.
5. Cuando se suelda o se le suministra calor a la pared exterior de un equipo recubierto de vidrio.

Formas de prevención:

1. Calentamiento o enfriamiento lento, es recomendado que estos se hagan con una velocidad de 2 °C por minuto.

2. No exceder los diferenciales de temperatura que se muestran en las siguientes tablas.

TABLA 8.1 CARGANDO UN PRODUCTO FRIO A UN EQUIPO DE ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO CALIENTE.

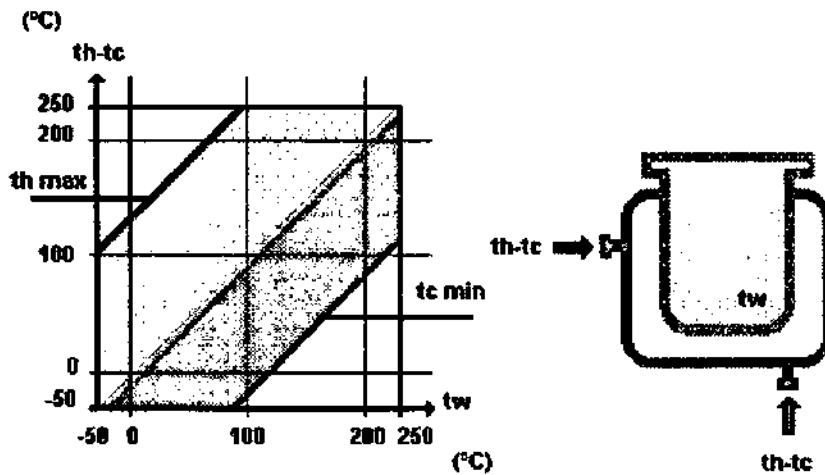


Por ejemplo:

Con una temperatura de la pared vidriada (t_w) de 75°C , la máxima temperatura del producto (t_p max) es de 225°C . La mínima temperatura (t_p min) es -30°C .

TEMPERATURA DEL VIDRIO	MAXIMO DIF. DE TEMP.	MINIMA TEMP. DEL PROD.
120 °C	125 °C	- 5 °C
150 °C	110 °C	40 °C
175 °C	95 °C	80 °C
205 °C	80 °C	125 °C
230 °C	70 °C	160 °C

TABLA 8.2 INTRODUCCIÓN DE UN MEDIO CALIENTE A LA CHAQUETA DE UN EQUIPO DE ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO.



POR EJEMPLO:

Para una temperatura de la pared vidriada de 85°C (t_w), la máxima temperatura del fluido caliente que se introduce a la chaqueta ($t_h \text{ max}$) será de 235°C. La mínima temperatura del fluido frío ($t_c \text{ min}$) será de -35°C.

TEMPERATURA DEL VIDRIO	MAXIMO DIF. DE TEMP.	MAXIMA TEMP. DEL MEDIO.
120 °C	125 °C	245 °C
150 °C	110 °C	260 °C
175 °C	95 °C	270 °C
205 °C	80 °C	285 °C
230 °C	70 °C	300 °C

3. Se puede soldar sobre la chaqueta del equipo de acero recubierto de vidrio siempre que no se suelde a una distancia menor a 10 cm del cuerpo interior en la junta del sellador superior o del diafragma inferior. Jamás deberá soldarse con líquido en el equipo recubierto de vidrio, porque el choque térmico será mayor que con la unidad vacía.

8.3 Desprendimiento del vidrio por ataque químico.

Es también conocida con el nombre de fractura de escama de pescado, por la forma como se presenta, es causada por el derrame de productos y / o reactivos ácidos por fuera del equipo recubierto de vidrio, que al hacer contacto el ácido con el metal surge una reacción de hidrogenación la cual daña al recubrimiento de vidrio por abajo de él, al hacer una presión, entre el vidrio y el metal.

8.3.1. Formas de prevención

- a. Protección del equipo recubierto de vidrio de salpicaduras de reactivos y / o productos ácidos.
- b. Limpieza de salpicaduras de reactivos y / o productos inmediatamente después de que hayan caído sobre el equipo.
- c. No usar soluciones acidas para la limpieza del interior de las chaquetas.

8.3.2. Como eliminar salpicaduras de productos o reactivos corrosivos.

1. Evitar fugas en las juntas de una tubería, estas fugas se pueden prevenir de la siguientes formas:
 - a. Utilizando juntas o empaquetaduras apropiadas.
 - b. Cuidar que no exista una sobre - presión en las líneas.

2. Ser cuidadosos al cargar los reactivos a un reactor, utilice canaletas acoginadas en su parte inferior para agregar reactivos al reactor.

3. Limpie salpicaduras inmediatamente.

8.3.3. Protección de los equipos recubiertos de vidrio para evitar la botadura en forma de escama de pescado.

1. La mejor forma de protección es la instalación de una mampara metálica de preferencia de acero inoxidable alrededor del equipo, principalmente de la tapa o cabeza de un reactor enchaquetado o en toda la pieza si es una pieza sin chaqueta o una pieza chica.

2. En caso de no poder colocar la mampara, se sugiere que se recubra la unidad por fuera con un primario rico en zinc ligado por resina epoxica y enseguida dos capas de esmalte epóxico. El esmalte resiste salpicaduras de ácido pero deberá lavarse inmediatamente después de cualquier salpicadura de ácido hacia la unidad.

8.3.4. Limpieza de chaquetas.

Generalmente los medios de enfriamiento o calentamiento más utilizados son el agua líquida o gaseosa (vapor) según la necesidad, o salmuera.

Estos medios generan óxidos e incrustaciones después de un periodo de tiempo de utilización, lo que genera una reducción en la transferencia de calor, lo que determina necesaria la limpieza de las chaquetas.

Para limpiar las chaquetas de un equipo recubierto de vidrio jamás deberán utilizarse soluciones ácidas, es recomendable utilizar una solución alcalina de hipoclorito de sodio como a continuación se describe:

- 10 litros de hipoclorito de sodio comercial (10 - 15 %)
- 750 litros de agua.

La forma de utilización es la siguiente:

Se mezclan el agua y el hipoclorito de sodio formando la solución de limpieza, se recircula ésta solución durante 3 - 5 horas a temperatura ambiente. La función de la solución es, aunque no disuelve el óxido ni las incrustaciones, suelta el residuo y permite que la fuerza de recirculación lo arrastre desde el acero.

Después de las 3 - 5 horas de recirculación hay que lavar la chaqueta con agua. Dependiendo del grado de incrustación se puede repetir ésta operación.

Los medios de enfriamiento más utilizados son el agua y la salmuera. La salmuera deberá haber sido adecuadamente neutralizada e inhibida con bicromato de sodio para evitar la corrosión del acero. Las concentraciones recomendadas para la salmuera deberán tener una densidad de 1.20 y un valor de pH de 8.0 - 8.5.

Deberá agregarse bicromato de sodio a razón de 1 kg por 875 litros de salmuera. Se deberá tener un control de la densidad y el valor de pH de la salmuera para evitar problemas de corrosión en el metal.

Pueden usarse satisfactoriamente en la chaqueta el etilen - glicol, el glicerol y otros enfriadores.

CAPÍTULO IX
REPARACIONES EN UN EQUIPO DE ACERO
RECUBIERTO DE VIDRIO

La resistencia a la corrosión del vidrio de un equipo de acero recubierto de vidrio es uniforme en todo su espesor, por lo tanto algún desgaste o rasguño superficial no debe causar alarma. El espesor mínimo que puede tener el vidrio de un equipo de acero recubierto de vidrio es de 0.025".

Un daño en la superficie de vidrio, siempre y cuando sea pequeño, puede ser reparado inmediatamente. Las formas de daño ya fueron descritas en los capítulos anteriores.

Después de una revisión y evaluación del estado del equipo recubierto de vidrio se determinará si el o los daños encontrados pueden ser reparados y la forma de repararlos, existen cuatro formas de reparar un daño, las tres primeras de ellas se pueden hacer en el campo, lo que representa una reparación rápida.

1. Utilización de cementos.
2. Tornillos de metales resistentes a la corrosión.

3. Parches de metales resistentes a la corrosión.
4. Nuevo recubrimiento de vidrio.

A continuación se describen las cuatro formas de reparación.

1. Uso de cementos a prueba de ácidos, en caso de localizar defectos pequeños en el vidrio.
2. Uso de tornillos y tuercas de materiales resistentes a la corrosión con empaques de PTFE y cementos a prueba de ácidos, éstos son usados para fracturas pequeñas, situadas en las partes planas.
3. Uso de parches cuando el área dañada es demasiado grande, con materiales resistentes a la corrosión con empaques de PTFE y cementos a prueba de ácidos.
4. Recubrimiento nuevo de vidrio, si el metal base está en buenas condiciones metálicas o si puede ser reparado metálicamente.

9.1 Cementos.

Para reparar pequeñas fracturas en el vidrio y hacer la reparación rápidamente se utilizan los cementos o resinas, los más utilizados por sus propiedades son:

- a. Resina furánica.
- b. Nukem 20

La reparación del área dañada se hace:

1. Eliminar todo resto de producto, polvo y grasa que se encuentre cerca y en el área dañada, esta limpieza se puede hacer con cualquier solvente, el tipo de solvente depende del tipo de proceso.
2. Determinar los límites del área dañada.
3. Lijar el área a reparar, esta se hace con el objeto de preparar una buena adherencia de la resina en el vidrio.
4. Preparar la resina.
5. Aplicar la resina sobre el área dañada.
6. Dejar secar la resina por un lapso de 72 horas.

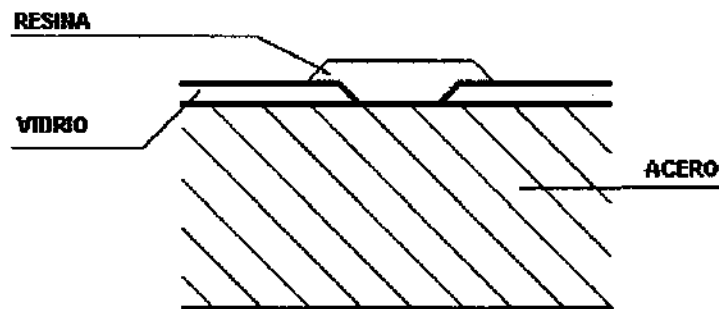


FIGURA 9.1 Colocación de resina sobre un daño en un equipo de acero recubierto de vidrio..

9.2 Tornillos.

Cuando el área dañada es pequeña (con un diámetro menor a 4") pero por necesidades del proceso, los cementos no se pueden utilizar, es necesario la colocación de un tornillo para proteger el área dañada.

El tipo de metal del tornillo, es determinado por las características del proceso, las dimensiones del tornillo y su forma de colocación dependen del tamaño del daño.

Los tornillos pueden ser de los siguientes materiales:

- a. Tantalio.
- b. Hastelloy B.
- c. Hastelloy C.
- d. Titanio.
- e. Acero inoxidable tipo 302.
- f. Acero inoxidable tipo 304.
- g. Acero inoxidable tipo 316 L.
- h. Illium G.
- i. Incomel.
- j. Monel 400.
- k. Circonio.
- l. Niquel.

Preparación del área dañada:

1. Eliminar todo resto de producto, polvo y grasa que se encuentre cerca y en el área dañada, esta limpieza se puede hacer con cualquier solvente, el tipo de solvente depende del tipo de proceso.
2. Determinar los límites del área dañada.
3. Borear el metal
4. Machuelear.
5. Colocación de PTFE en forma de rondana
6. Introducción del tornillo.

Las figuras ilustran la forma de colocación del tornillo dependiendo de las dimensiones del daño.

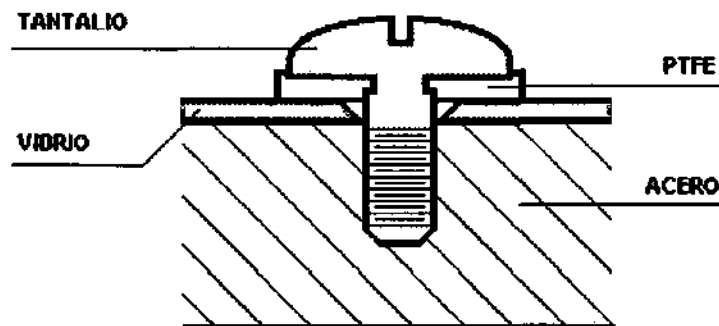


FIGURA 9.2 Colocación de un tornillo sobre un daño en un equipo de acero recubierto de vidrio.

9.3 Parches.

Si el área dañada es demasiado grande, con un diámetro superior a las 4", el área puede ser reparada con un parche.

Los parches pueden ser de los siguientes materiales:

- a. Tantalio.
- b. Hastelloy B.
- c. Hastelloy C.
- d. Titanio.
- e. Acero inoxidable tipo 302.
- f. Acero inoxidable tipo 304.
- g. Acero inoxidable tipo 316 L.
- h. Illium G.
- i. Incomel.
- j. Monel 400.
- k. Circonio.
- l. Niquel.

Los pasos a seguir en la colocación de un parche son:

1. Eliminar todo resto de producto, polvo y grasa que se encuentre cerca y en el área dañada, esta limpieza se puede hacer con cualquier solvente, el tipo de solvente depende del tipo de proceso.

2. Determinar los límites del área dañada.
3. De acuerdo al tamaño del área dañada se determina la forma y el número de tornillos a colocar, se recomienda una distancia de centro de tornillo a tornillo 1" (2.54 cm) y una forma circular o elipsoidal del parche.
4. Barrenar el metal.
5. Machuelear.
6. Colocar el PTFE para evitar daños sobre el vidrio.
7. Colocación del parche.

TABLA 9.1 RESISTENCIA A LA CORROSION DE LOS METALES MÁS UTILIZADOS COMO PARCHES EN EQUIPOS DE ACERO RECUBIERTO DE VIDRIO.

MATERIAL	CONDICIONES DE OXIDACION		CONDICIONES DE REDUCCION	
	CLORADAS	NO CLORADAS	CLORADAS	NO CLORADAS
TANTALIO	E	E	E	E
CIRCONIO	N	E	E	E
HASTELLOY B	N	N	E	E
TITANIO	E	E	M	M
HASTELLOY C	M	M	M	B
MONEL	N	R	R	B
CARPENTER	N	B	N	R
INCOMEL	N	R	N	R
ACERO INOX.	N	B	N	N

NOMENCLATURA:

- E: EXCELENTE SERVICIO.**
- B: BUEN SERVICIO.**
- M: MAL SERVICIO.**
- N: NO RECOMENDABLE**

9.4 Nuevo recubrimiento al acero de vidrio.

Existen equipos los cuales no se pueden reparar en el campo, pero existe la posibilidad de restaurarlo en una planta de recubrimiento de vidrio.

Esta restauración se hace cambiando el metal corroído por un nuevo, lo que significa un considerable ahorro a los usuarios. El proceso de revestimiento es el mismo que el de recubrimiento a un equipo nuevo, obteniendo un recubrimiento con las mismas características que un recubrimiento nuevo.

TABLA 9.2 PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES UTILIZABLES PARA TORNILLOS Y PARCHES.

MATERIAL	TANTALIO	HASTELLOY B	HASTELLOY C	TITANIO
COMPOSICION NOMINAL ELEMENTOS EN %	Ta 99.9	Ni, resto Mo 28 Fe 5, Mn, Si	Ni, resto Mo 16 Fe 5, W 4, Mn	Ti, resto Fe 0.2 Max N2 0.05
FORMA Y CONDICION	Laminas	Lam recocido	Lam. recocido	Recocido
DUREZA BRINELL	55	209	215	200
DENSIDAD Lb / in ²	0.60	0.334	0.323	0.163
DENSIDAD RELATIVA	16.6	9.24	8.94	4.59
PUNTO DE FUSION (°F)	5425	2460	2350	3100
CALOR ESPECIFICO BTU / Lb °F	0.036	0.091	0.092	0.129
CONDUC. TERMICA BTU / Ft ² hr In	377	72	61	114

TABLA 9.2 CONTINUACION...

MATERIAL	AC. INOX 302	AC. INOX 304	AC. INOX 316L	ILLIUM G
COMPOSICION NOMINAL ELEMENTOS EN %	Fe, Cr 18, Ni 8 C 0.08 - 0.20	Fe, Cr 19, Ni 9 C 0.08 máx.	Fe, Cr 17, Ni 12 C 0.03 máx, Mo 2	Ni, Cr 22.5, Mo Fe 0.5, Cu, Mn.
FORMA Y CONDICION	Laminado frío	Laminado frío	Recocido	Vaciado
DUREZA BRINELL	160	160	150	200
DENSIDAD Lb / in2	0.29	0.29	0.29	0.31
DENSIDAD RELATIVA	8.02	8.02	8.02	8.31
PUNTO DE FUSION (°F)	2550	2550	2550	2375
CALOR ESPECIFICO BTU / Lb °F	0.12	0.12	0.12	0.105
CONDUC. TERMICA BTU / Ft2 hr in	112.8	113	113	84

MATERIAL	INCOMEL	MONEL 400	CIRCONIUM	NIQUEL
COMPOSICION NOMINAL ELEMENTOS EN %	Ni + Co 76.40 C 0.04, Mn, Fe.	Ni + Co 66.15 C 0.12, Mn, Fe	O2 0.07, Co 0.15 Zr resto.	Ni 99.5 C, Mn, S, Si.
FORMA Y CONDICION	Recocido	Lam en frío	Recocido	Recocido
DUREZA BRINELL	150	240	80	100
DENSIDAD Lb / in2	0.304	0.319	0.245	0.321
DENSIDAD RELATIVA	8.43	8.63	6.50	8.89
PUNTO DE FUSION (°F)	2540	2370	3380	2615
CALOR ESPECIFICO BTU / Lb °F	0.109	0.127	0.118	0.110
CONDUC. TERMICA BTU / Ft2 hr in	104	174	95	420

CAPÍTULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo con lo expuesto en el trabajo, se puede ver que el acero recubierto de vidrio es un buen material para la construcción de equipos que son utilizados en la industria química.

El acero recubierto de vidrio es un material resistente a la corrosión, no contamina a las sustancias que están en contacto con él, es de fácil limpieza y si bien se requiere de una inversión considerable para la adquisición de un equipo, éstas ventajas lo hacen un equipo rentable a corto plazo, comparado con otros materiales de construcción de equipos (acero al carbón, acero inoxidable etc).

Debe hacerse notar el hecho de que los cuidados mencionados en el presente trabajo, aunque mínimos, sirven para garantizar que el acero recubierto de vidrio conserve las características que lo hacen adecuado para las operaciones que se llevarán a cabo en él.

Como forma de agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, por el esfuerzo realizado para

infundir en mí una educación tanto intelectual como moral, se realizó el cálculo y construcción de un reactor de acero recubierto de vidrio, para el laboratorio de operaciones unitarias.

Este equipo está diseñado para adecuarse a las condiciones de reacción a las que sea sometido, sin embargo, es capaz de perfeccionarse y será necesario que se considere esta posibilidad, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento de él.

En el trabajo se incluye el diagrama de el equipo en su totalidad, a fin de que la instalación de éste sea realizada por los responsables del laboratorio.

El equipo ha sido probado, utilizando agua a una temperatura de 25°C y una presión de 1 Kg/cm² durante 30 minutos con agitación continua.

Se recomienda llevar un registro del uso del reactor con el fin de establecer un control sobre el equipo y conocer en cualquier momento las condiciones a las que ha trabajado el reactor. Cabe recomendar leer el **CAPÍTULO VIII**, antes de ser utilizado el equipo por primera vez por una persona, esto es para evitar daños irreversibles en el vidrio. Las variables a cuidar son:

- a. Temperatura.
- b. Velocidad de enfriamiento y de calentamiento
- c. Tipo de ácido.
- d. En soluciones básicas se recomienda ver los límites del valor pH y temperatura.

BIBLIOGRAFIA

1. PERRY, ROBERT H. *Manual del Ingeniero Químico*. 3a. edición en español 1992. McGraw-Hill. México, D.F., México.
2. KIRK, RAYMOND E. / OTHMER, DONALD, F. *Enciclopedia de Tecnología Química*. 1a. edición en español. 1962. UTEHA. México, D.F., México.
3. PARKER, SYBIL P. *Diccionario McGraw-Hill de Química*. 1a. edición en español. 1989. McGraw-Hill. México, D.F., México.
4. AUSTIN, GEORGE T. *Manual de Procesos Químicos en la industria*. 5a. edición. 1989. McGraw-Hill. México D.F., México.
5. MOLERA SOLA, PERE. *Tratamientos termicos de los metales*. 3a edición. 1991. Buxaren. Barcelona, España.
6. MOLERA SOLA, PERE. *Metales resistentes a la corrosión*. 3a edición. 1991. Buxaren. Barcelona, España.
7. OCON, JOAQUIN / VIAN, ANGEL. *Elementos de operaciones básicas en ingeniería Química*. 5a edición Editorial Aguilar. 1967. Madrid, España.
8. VAN VLACK, LAURENCE H. *Tecnología de Materiales*. 1a. edición. Grupo editorial iberoamérica. 1973. México D.F., México.